

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO

**TEMA:
MODELAMIENTO DEL THD PRODUCIDO POR EL USO DE COCINAS
ELÉCTRICAS DE INDUCCIÓN RESIDENCIAL EN LA RED DE
DISTRIBUCIÓN**

**AUTOR:
GABRIEL ISAAC SALAZAR RIVADENEIRA**

**DIRECTOR:
FRANKLIN HERNÁN VÁSQUEZ TENEDA**

Quito, Febrero de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Gabriel Isaac Salazar Rivadeneira autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 28 de Febrero del 2015

Gabriel Isaac Salazar Rivadeneira
CC: 1718252875

AUTOR

CERTIFICA:

El Ing. Franklin H. Vásquez T. certifica haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y financieros del informe de la tesis, así como la investigación respecto al “Modelamiento del THD Producido por el Uso de Cocinas Eléctricas de Inducción Residencial en la Red de Distribución” realizada por el Sr. Gabriel Isaac Salazar Rivadeneira, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 28 de Febrero del 2015

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda
DIRECTOR

DEDICATORIA.

Este proyecto es dedicado con mucho amor a mi familia que siempre estuvieron apoyándome con amor y sabiduría para hoy poder darles las gracias dedicándoles esta nueva meta cumplida,

LES AMO MUCHO.

AGRADECIMIENTO.

*Agradezco la ayuda y dirección académica
al Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda,
también a mis amigos de vida universitaria
y a mi amigo Flavio Barbosa por su
apoyo incondicional.*

ÍNDICE GENERAL

<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>CAPÍTULO I</i>	3
<i>1. LA COCINA DE INDUCCIÓN Y SU INCURSIÓN EN EL ECUADOR</i>	3
<i>1.1 Principios de Funcionamiento de la Cocina de Inducción</i>	3
1.1.1 Ley de Joule	3
1.1.2 Ley de Lenz.	4
1.1.3 Ley de Faraday.	4
1.1.4 Ley de Ampere.....	5
1.1.5 Funcionamiento de la Cocina de Inducción.....	5
<i>1.2 Evaluación Implementación de Cocinas de Inducción en el Sector Residencial</i> ...	7
1.2.1 Evolución del Mercado Energético	7
1.2.2 Antecedentes del Plan Nacional de Cocción Eficiente.....	9
1.2.3 Evaluación Técnica del Uso de Cocinas de Inducción.	10
1.2.4 Impacto Social del Uso de Cocinas de Inducción.....	11
1.2.5 Demanda Promedio Mensual de Energía (kWh)	12
<i>1.3 Diferencial energético de la Cocina a Inducción y la Cocina a GLP</i>	14
1.3.1 Uso de GLP para Cocción en el Sector Residencial. [8]	16
1.3.2 Eficiencia de la Cocina de Inducción.	16
<i>1.4 Perspectivas de la Matriz Energética Ecuatoriana</i>	17
1.4.1 Energía Hidroeléctrica.....	17
1.4.2 Energía Solar.....	18
1.4.3 Energía Eólica.....	20
1.4.4 Biogás.....	23
<i>CAPÍTULO II</i>	24
<i>2. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA</i>	24
<i>2.1 Índices de Calidad de la Energía</i>	24

2.1.1	Confiabilidad.....	24
2.1.2	Continuidad	25
2.1.3	Nivel de Voltaje.....	26
2.1.4	Perturbaciones.....	27
2.1.5	Factor de Potencia	27
2.2	<i>Distorsión Armónica Total de Tensión y de Corriente.</i>	28
2.2.1	Definición de Armónico.....	28
2.2.2	Orden del Armónico.....	29
2.2.3	Espectro Armónico.....	30
2.2.4	Tasa de Distorsión Armónica en Tensión	31
2.2.5	Tasa de Distorsión Armónica en Corriente.....	31
2.2.6	Tasa Total de Distorsión Armónica (THD)	32
2.2.7	Factor de Diversidad (FD).....	34
2.2.8	Factor de Atenuación (FA).....	35
2.3	<i>Factor de Potencia</i>	35
2.3.1	Potencia Activa	36
2.3.2	Potencia Reactiva.....	36
2.3.3	Potencia Aparente	37
2.3.4	Factor de Potencia de Desplazamiento.....	37
2.3.5	Corrección del Factor de Potencia	38
2.4	<i>Tensión Eficaz y Corriente Eficaz.</i>	38
CAPÍTULO III.		41
3. MODELAMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA COCINA DE INDUCCIÓN		41
3.1	<i>Análisis de Armónicos que las Cocinas de Inducción Introducen a la Red.</i>	41
3.1.1	Nivel de Voltaje de la Red de Distribución	41
3.1.2	THD de Voltaje Producidos en un Transformador	42
3.2	<i>Análisis de un Sistema de Cocción por Inducción.</i>	43
3.2.1	Sistema de Alimentación Eléctrica.....	44
3.2.2	Etapas Rectificadora	44
3.2.3	Etapas Inversor de Alta Frecuencia	45

3.3	<i>Modelamiento en Matlab %THD de la Cocina a Inducción.</i>	48
3.3.1	Circuito representativo de la cocina de Inducción.	49
3.3.2	Circuito Resonante Equivalente.....	51
3.3.3	Determinación de la Capacitancia e Inductancia del Circuito Resonante.....	52
3.3.4	Circuito de Control.....	54
3.4	<i>Análisis de Modelación %THD de Cocina a Inducción.</i>	54
3.4.1	Mediciones Reales de Laboratorio	54
3.4.3	Resultados de Modelación en Simulink	62
3.4.4	Análisis de Resultados Medidos y Simulados.	67
3.4.5	Filtros Armónicos	68
3.4.6	Filtro de Butterworth	69
CAPÍTULO IV.....		73
4.	<i>EFICIENCIA DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN A NIVEL RESIDENCIAL</i>	73
4.1	<i>Demanda Promedio Mensual de Consumo de Energía</i>	73
4.2	<i>Consumo de Cliente Típico Promedio Residencial</i>	76
4.3	<i>Ventajas y Desventajas de la Utilización de las Cocinas de Inducción</i>	77
4.3.1	Ventajas.....	77
4.3.2	Desventajas	78
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES.....		81
Bibliografía.....		82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<i>Figura1. 1 Montaje para experimenta las fuerzas de oposición al movimiento del imán como efecto de la Ley de Lenz.</i>	4
<i>Figura1. 2 Funcionamiento de la cocina por Inducción.....</i>	6
<i>Figura1. 3 Evolución del consume de energía por fuentes 1970 – 2012.....</i>	8
<i>Figura1. 4 Evolución Histórica y proyección de la facturación total de energía por grupo de consumo</i>	9
<i>Figura1. 5 Poblaciones Beneficiarias de Cocinas de Inducción.....</i>	9
<i>Figura1. 6 Curva de Penetración de Cocinas en el S.N.I.</i>	13
<i>Figura1. 7 Consumo de GLP a nivel nacional por sectores, año 2011.....</i>	14
<i>Figura1. 8 Fuentes de energía para cocción.....</i>	14
<i>Figura1. 9 Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.....</i>	20
<i>Figura1. 10 Potencial Eólico del Ecuador.....</i>	22
 <i>Figura2. 1 Función de Confiabilidad de un elemento aislado.</i>	 24
<i>Figura2. 2 Sistema de Suministro Eléctrico.....</i>	25
<i>Figura2. 3 Forma de onda ideal y forma de onda distorsionada.....</i>	28
<i>Figura2. 4 Espectro Armónico.....</i>	31
<i>Figura2. 5 Triangulo de potencias.....</i>	37
 <i>Figura 3. 1Curvas de carga antes y después de la instalación de las cocinas, de una semana.</i>	 42
<i>Figura 3. 2 Curva de carga antes y después de la instalación de cocinas, de una semana.</i>	42
<i>Figura 3. 3 Diagrama de bloques del sistema de calentamiento por inducción.....</i>	43
<i>Figura 3. 4 Señal de corriente alterna y señal de corriente directa.....</i>	44
<i>Figura 3. 5 Topologías de inversores de alta frecuencia.....</i>	45
<i>Figura 3. 6 Formas de onda características en el inversor puente completo.....</i>	47
<i>Figura 3. 7 Circuito básico de un inversor cuasi-resonante.....</i>	48
<i>Figura 3. 8 Circuito Representativo para la simulación.</i>	50
<i>Figura 3. 9 Circuitos Resonantes Equivalentes.....</i>	51

<i>Figura 3. 10 Cocina a Inducción y sus características de fábrica marca Indurama</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 11 Fluke 435 Series II Energy Analyzer with Advanced Power Quality Functions</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 12 Parámetros elegidos para la toma de mediciones.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 3. 13 Gráfico estadístico de variación de tensión</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3. 14 Gráfico estadístico de variación de corriente</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3. 15 Gráfico estadístico de variación de frecuencia.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3. 16 Gráfico estadístico del Factor de Potencia Total Media.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3. 17 Gráfico estadístico de THD LNG Media.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. 18 Histograma de Armónicos.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3. 19 Simulación de THD de Corriente</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3. 20 Simulación de THD de Corriente con Datos de Fluke</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3. 21 Simulación de THD de Voltaje</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. 22 Simulación de THD de Voltaje con Datos de Fluke</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3. 23 Herramienta de Análisis Powergui.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3. 24 Diagrama eléctrico de filtros pasivos.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3. 25 Simulación de THD de Corriente con Filtro Butterworth</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3. 26 Simulación de THD de Voltaje con Filtro Butterworth</i>	<i>72</i>
 <i>Figura 4. 1 Eficiencia de las Cocinas tomada de Tabla4.1</i>	 <i>75</i>
<i>Figura 4. 2 Consumos de Energía Eléctrica por uso de los Sistemas de Cocción por Inducción</i>	<i>75</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Transformadores reemplazados por parroquia.</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 1.2 Quintiles del Uso de GLP en el sector Residencial.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 1.3 Principales Proyectos Hidroeléctricos en el Ecuador.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 1.4 Potencial Eólico Eléctrico Estimado del Ecuador.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla2. 1 Variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla2. 2 Parámetros de los armónicos más usuales.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla2. 3Límites de la variación armónica.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4. 1 Eficiencia de las Cocinas.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 4. 2 Estudio de Carga Residencial.....</i>	<i>76</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>A1 Toma de mediciones descargadas desde el equipo Fluke.</i>	
---	--

GLOSARIO DE TÉRMINOS

fem	<i>Fuerza Electromotriz</i>
B	<i>Campo Magnético</i>
W	<i>Vatio</i>
Wp	<i>Vatio Pico</i>
KW/mes	<i>Kilovatio mes</i>
MW	<i>Megavatio</i>
KWh	<i>Kilovatio hora</i>
M²	<i>Metro cuadrado</i>
V	<i>Voltio</i>
I	<i>Corriente</i>
DC	<i>Corriente Continua</i>
AC	<i>Corriente Alterna</i>
R	<i>Resistencia</i>
VAC	<i>Voltaje de corriente alterna</i>
THD	<i>Distorsión Total Armónica</i>
THDI	<i>Distorsión Total Armónica Corriente</i>
THDV	<i>Distorsión Total Armónica Voltaje</i>
T	<i>Temperatura</i>
J	<i>Joules</i>
Hz	<i>Hertz</i>
USD	<i>Dólar americano</i>

Modelamiento del THD Producido por el Uso de Cocinas Eléctricas de Inducción Residencial en la Red de Distribución

Gabriel Isaac Salazar Rivadeneira

gsalazarr@est.ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen— El calentamiento por inducción es una técnica conocida para producir una temperatura muy alta para las demás aplicaciones. Un gran número de topologías se han desarrollado en esta área, tales como el inversor de voltaje y fuente de corriente.

Este trabajo compara la distorsión armónica contenida en la onda de voltaje y corriente generada por cocinas de inducción. La descripción teórica explica la topología de la operación del inversor puente y las topologías de convertidores multinivel, dando mayor importancia a los resultados de las simulaciones realizadas en Matlab para presentar una comparación del contenido de armónicos y la distorsión armónica total obtenida. Particularmente para verificar las ventajas de usar cocinas de inducción a nivel residencial y establecer el efecto causado a la red eléctrica por el uso de la cocina a inducción.

Modeling the THD of Electric Ranges Residential Induction in Distribution Network

Gabriel Isaac Salazar Rivadeneira
gsalazarr@est.ups.edu.ec
Universidad Politécnica Salesiana

Abstract— Induction heating is a well-known technique to produce very high temperature for applications. A large number of topologies have been developed in this area such as voltage and current source inverter. This paper compares the harmonic distortion contained in the wave of voltage and current generated by Induction cookers.

The theoretical description explains the bridge inverter operation topology and multilevel inverters topologies, giving greater emphasis to the results of simulations performed in Matlab to present a comparison of the harmonic content and total harmonic distortion obtained.

Particularly to verify the advantages of using Induction cookers in domestic and establish the effect caused to the mains.

INTRODUCCIÓN

La cocina de inducción es una alternativa nueva que se presenta en el Ecuador como una solución energética que beneficiará directamente al Estado Ecuatoriano con el ahorro del subsidio que se mantiene sobre el GLP (Gas Licuado de Petróleo).

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha dado a conocer el Plan Nacional de Cocción Eficiente, razón por la cual se encuentran estableciendo los requerimientos técnicos económicos del proyecto.

Analizando el consumo de los hogares urbanos del Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos - INEC en el Censo de 2010 determinó que 2, 359,523 usan Gas Licuado de Petróleo - GLP, esto representa el 68.1% del total de los hogares ecuatorianos que usan este combustible como energético.

La cocina eléctrica de inducción tiene una eficiencia del 80.6%, comparado con la cocina de GLP del 51.26%, equivalente a la relación de 1.6. Considerando la implementación del programa de reemplazar las cocinas eléctricas de inducción por cocinas a GLP en el sector urbano, el incremento de la demanda de energía será 5,309.13 GWh al año lo que representa el crecimiento del 33.0%. El crecimiento de la demanda máxima entre las 18h00 a 20h00 estará entre 1,503 MW y 2,631 MW.

Para suplir el crecimiento de la demanda por la implementación del programa, el sector de la generación, transmisión y distribución requiere una inversión aproximada entre USD 6,071 millones y USD 7,013 millones.

Además se estableció el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101 “ARTEFACTOS ELECTRODOMÉSTICOS PARA COCCIÓN POR INDUCCIÓN”, el mismo establece las normas técnicas mínimas que deben cumplir los artefactos electrodomésticos para cocción por inducción, destinados al calentamiento y cocción de alimentos, con el propósito de prevenir riesgos para la salud, la vida y la seguridad de las personas, y prevenir las

prácticas que puedan inducir a error o crear confusión a los usuarios en su manejo, operación y funcionamiento.

Sin embargo el uso de este artefacto a gran escala puede causar un impacto en la red de distribución por la presencia de armónicos, situación por la cual se plantea realizar un modelamiento de THD aplicado al uso de cocinas a inducción para determinar los efectos que presentan en su funcionamiento en el sistema residencial y que puede transmitir hacia la red de distribución.

CAPÍTULO I

1. LA COCINA DE INDUCCIÓN Y SU INCURSIÓN EN EL ECUADOR.

1.1 Principios de Funcionamiento de la Cocina de Inducción.

La inducción es un método completamente diferente de todas las otras tecnologías de cocción, no implica la generación de calor que se transfiere al recipiente de cocción, hace que el recipiente de cocción en sí sea el generador de calor original de la cocción. [1]

La inducción consiste en la generación de un campo magnético, que por sí mismo, no genera calor, pero que en contacto con un recipiente metálico, hace que este se caliente, y por tanto que caliente los alimentos. Este principio, conocido como ley de Faraday (quien descubrió e investigó este fenómeno), hace que sean más eficientes energéticamente que otros tipos de cocina, y por tanto, que nos permitan ahorrar energía y dinero.

1.1.1 Ley de Joule

El efecto térmico de la corriente eléctrica en un conductor puramente óhmico, toda la energía disponible se transforma en calor por efecto joule.

Es decir, la cantidad de calor desprendida por una unidad de tiempo en una resistencia es proporcional a dicha resistencia y al cuadrado de la intensidad de corriente que la atraviesa de acuerdo a la ecuación (1.1). [2]

$$W = R * I^2 * t \quad (1.1)$$

Dónde:

W: La energía calorífica recibida por la resistencia

R: El valor óhmico de dicha resistencia

I: La intensidad de corriente eléctrica que la atraviesa.

t: El tiempo de duración de paso de esta corriente.

1.1.2 Ley de Lenz.

Los efectos sobre inducción electromagnética obedecen a la denominada Ley de Lenz, que, resumidamente, dice: “La fuerza electromotriz inducida se opone siempre a la causa que la origina”

Esto se puede llegar a experimentar, por ejemplo, mediante una bobina y un imán como se indica en la figura (1.1). [3]

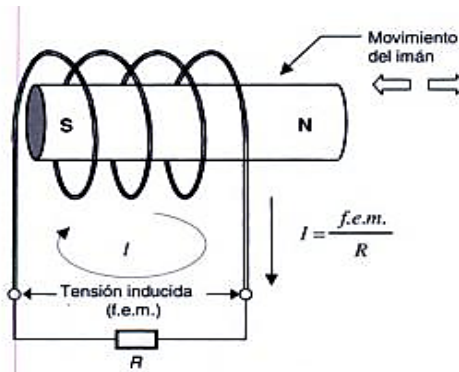


Figura1. 1 Montaje para experimenta las fuerzas de oposición al movimiento del imán como efecto de la Ley de Lenz.

Fuente: D. F. R. Vassallo, ELECTROTECNIA GENERAL, Perú, 164 - Barcelona-20: Ediciones CEAC, 1983

1.1.3 Ley de Faraday.

Experimentalmente también se sabe que la magnitud de fuerza electromotriz (f.e.m.) generada en una espira es proporcional a la rapidez de variación del flujo magnético en la unidad de tiempo. O sea, cuanto mayor sea la cantidad de líneas de fuerza cortadas por la espira y más rápido sea el movimiento, mayor es la magnitud de fuerza electromotriz inducida. Esto se conoce por Ley de Faraday, lo cual se expresa matemáticamente por la ecuación (1.2):

$$f. e. m. = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \frac{\text{flujo}}{\text{tiempo}} \quad (1.2)$$

Esta fórmula es la expresión matemática de una velocidad; en este caso, la variación de flujo magnético. El signo negativo (-) es para indicar que la f.e.m. inducida será siempre de signo tal que se opondrá a la causa que la origina (Ley de Lenz). [3]

1.1.4 Ley de Ampere

La ley de Ampere establece que la integral de línea $\oint B \cdot ds$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente estable total que pasa a través de cualquier superficie limitada por la trayectoria cerrada, ecuación (1.3). [3]

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I \quad (1.3)$$

La ley de Ampere es válida solo para corrientes estables, y se utiliza solo para el cálculo de campos magnéticos de configuraciones de corriente con un alto grado de simetría.

Maxwell al reconocer estas limitaciones modifico la ley de Ampere para incluir todos los casos posibles. Resolvió este problema al postular un término adicional al lado derecho de la ecuación, llamado corriente de desplazamiento I_d definido como en la ecuación (1.4):

$$I_d = \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} \quad (1.4)$$

Donde : $\epsilon_0 =$ Permeabilidad eléctrica
 $\Phi_e =$ Flujo del campo eléctrico

La ley de Ampere puede expresarse en forma general (denominado ley de Ampere – Maxwell) como en la ecuación (1.5):

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 (I + I_d) = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} \quad (1.5)$$

1.1.5 Funcionamiento de la Cocina de Inducción.

Una cocina de inducción es un potente electroimán de alta frecuencia, con el electromagnetismo generado en la cerámica de la unidad, magnetiza el material ferromagnético, como por ejemplo, una sartén de hierro fundido la misma que se debe colocar en el elemento que está generando las transferencias de campo de energía. Esa energía transferida hace que el metal o recipiente de cocción se caliente, y mediante el

control de intensidad del campo electromagnético se puede controlar la cantidad de calor que se genera en el recipiente de cocción y se puede variar esa cantidad de forma instantánea.

El campo genera una corriente de bucle o un flujo de electricidad en el metal de la olla o sartén y el mismo flujo a través de la resistencia de metal genera calor, así como también la corriente que fluye a través del elemento de resistencia de la bobina de un rango eléctrico convencional genera calor; la diferencia es que se genera directamente calor a la olla o sartén en sí, no en cualquier parte de la cocina. [1]

- 1. Alimentación de la bobina electrónica (líneas rojas) que produce un campo electromagnético de alta frecuencia (representado por las líneas naranjas).*
- 2. Ese campo penetra en el metal de ferroso (material magnético) recipiente de cocción y establece una corriente eléctrica circulante, que genera calor.*
- 3. El calor generado en el recipiente de cocción se transfiere a lo contenido en el recipiente.*
- 4. Nada fuera del recipiente se ve afectado por el campo electromagnético, tan pronto como el recipiente se retira del mismo o se apaga, la generación de calor para.*

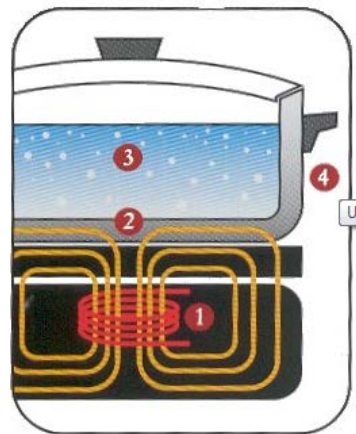


Figura1. 2 Funcionamiento de la cocina por Inducción.

Fuente: Compañía Owlcroft, «The Induction Site,» 17 02 2013. [En línea]. Available: <http://theinductionsite.com/how-induction-works.shtml>. [Último acceso: 09 10 2014].

1.2 Evaluación Implementación de Cocinas de Inducción en el Sector Residencial.

En el sector de residencial la demanda crece anualmente y con la implementación de una cocina de inducción en cada hogar a nivel nacional aún más, por lo que se requiere visualizar a futuro y realizar una estimación de lo que se requiere producir para cubrir esta demanda.

1.2.1 Evolución del Mercado Energético

El gobierno ha realizado varias inversiones en proyectos de generación, especialmente hidroeléctricos, así como también eólicos, solares, y térmicos, enmarcados en la política sectorial de cambio en la matriz energética y producción de energía a partir de procesos limpios, es decir, minimizando la afectación al medio ambiente, además de la implementación de programas de uso eficiente de la energía y la vinculación con la sociedad, originó la recuperación de las tasas de crecimiento anual de las industrias. Esto ha permitido que la intensidad energética del Ecuador se mantenga estable.

La energía eléctrica puede generarse en centrales eléctricas de distintas tecnologías a partir de recursos energéticos primarios y energías secundarias. [4]

Las energías primarias en el caso del Ecuador actualmente son:

- *Hidroenergía*
- *Geoenergía (bajo investigación)*
- *Energía Eólica*
- *Energía Solar*
- *Gas Natural*
- *Biomasa (bagazo de caña)*

Las fuentes de energía secundarias para la generación eléctrica en Ecuador son principalmente el diesel y el fuel oil (bunker c), especialmente este último.

En la matriz de consumo por tipo de fuentes, puede verse el predominio absoluto de los derivados del petróleo (figura 1.3), que aun cuando la electricidad ha aumentado su participación, el diesel y las gasolinas son las principales fuentes de consumo en especial para el sector transporte. [5]

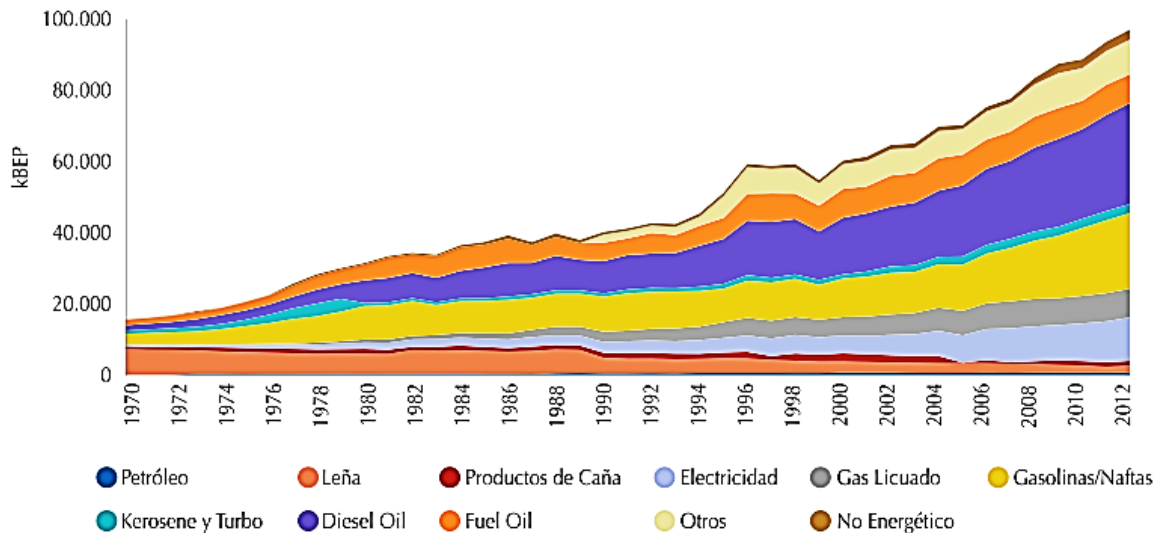


Figura1. 3 Evolución del consume de energía por fuentes 1970 – 2012.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2013,» Central, Quito , 2014.

Es claramente visible como la matriz energética ecuatoriana ha sufrido cambios en los últimos 40 años. Como resumen del análisis histórico se puede concluir sobre el predominio del petróleo en la oferta de energía, pero con una caída en el ritmo de producción en los últimos años, el aumento del consumo del sector transporte debido al crecimiento del parque automotor, y la participación mayoritaria de los combustibles fósiles, gasolina y diesel en la matriz final de consumo por tipo de fuente. [5]

La evolución del mercado es notoria incluso si se observa desde el punto de vista de cada sector de consumo y estimando un crecimiento anual del 5 %, se obtendrá 26.542 GWh hasta el 2022.

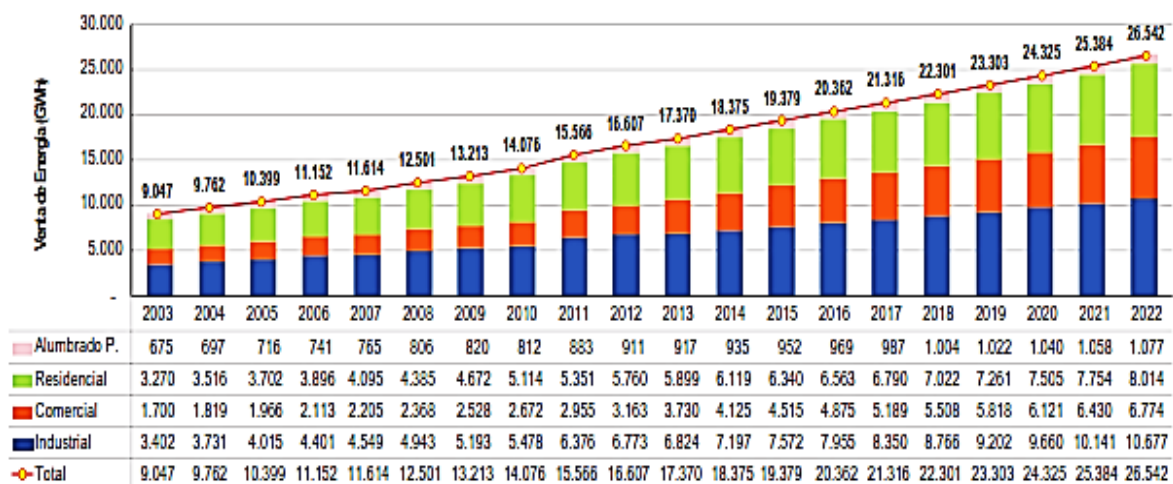


Figura1. 4 Evolución Histórica y proyección de la facturación total de energía por grupo de consumo

Fuente: CONELEC, «Plan Maestro de Electrificación 2013-2022,» Advantlogic Ecuador S.A., Cuenca, 2013.

Como se puede observar la evolución será significativa con el transcurso del tiempo tomando en cuenta que en la misma ya está considerada la incursión de la cocina de inducción en el mercado energético sin embargo el enfoque que se realiza a nivel residencial es canalizar y concientizar la eficiencia energética con la finalidad de que el conglomerado acoja la idea principal y de esta manera se ahorre dinero.

1.2.2 Antecedentes del Plan Nacional de Cocción Eficiente.

Con el objetivo de determinar el impacto social, técnico y económico de la eficiencia energética del sistema de cocción por inducción a familias de las parroquias del cantón Tulcán, se desarrolló un plan piloto en las siguientes parroquias.

Parroquias	Número de Beneficiarios
Urbina	259
El Carmelo	421
Julio Andrade	1.352
Maldonado	262
Tufiño	408
Chical	168
TOTAL	2.870

Figura1. 5 Poblaciones Beneficiarias de Cocinas de Inducción.

Fuente: CONELEC, «Plan Maestro de Electrificación 2013-2022,» Advantlogic Ecuador S.A., Cuenca, 2013.

En total se entregaron 2870 cocinas de inducción y un juego de ollas aptas para el funcionamiento de las cocinas con la finalidad de socializar y demostrar el uso de la tecnología a todas las familias de la zona.

El plan piloto se elaboró para realizar un análisis de los siguientes aspectos:

- *Evaluación Técnica*
- *Evaluación Social*

1.2.3 Evaluación Técnica del Uso de Cocinas de Inducción.

En la evaluación técnica se evaluó varios aspectos que se consideran importantes para la implantación del proyecto.

→Readecuación de la red y las Acometidas para uso de las cocinas.

Las readecuaciones en los domicilios cuyo monto ascendió a 322.017,00, y el monto invertido por abonado promedio fue de 99,54, involucró que se realice una nueva instalación en cada domicilio.

El material utilizado en la instalación residencial para la acometida especial de la cocina de inducción por usuario fue el siguiente:

- *Medidor electrónico con caja protectora anti-hurto.*
- *Limitador termo-magnético sobrepuesto de 20°.*
- *Tomacorriente doble polarizado (120/240V)*
- *Conductor de cobre 2x 10 AWG y cinta aislante.*
- *Regleteas y Grapas para sujeción y estética de los cables.*

→Reforzamiento de redes de distribución en las parroquias mencionadas.

Se realizaron evaluaciones en 492 transformadores de las parroquias de intervención del proyecto, concluyéndose que se debía cambiar 36 transformadores.

Potencia (kVA)	Julio Andrade	EL Carmelo	Tufiño	Urbina	Maldonado	Chical	Total
15	6	3	2	0	1	1	13
25	7	3	5	1	3	1	20
37,5	3	0	0	0	0	0	3
Total	16	6	7	1	4	2	36

Tabla 1.1 Transformadores reemplazados por parroquia.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Eficiencia Energética, «Energía,» 01 01 2013. [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>.

El monto de estas readecuaciones ascendió a USD 164.018,26 ya que se cambió los transformadores y los conductores.

→Comportamiento de la red de distribución eléctrica a partir de la carga ingresada con las cocinas de inducción.

Con el objeto de confirmar desde el punto de vista eléctrico si es viable la implementación de la cocinas de inducción se debe realizar un análisis de la cocina de inducción en una de las cocinas instaladas y mediante un analizador de redes registrar los parámetro eléctricos como son: Voltaje, Corriente, THDU, THDI, Factor de Potencia, Potencia Activa, Potencia Aparente y Energía.

1.2.4 Impacto Social del Uso de Cocinas de Inducción.

La socialización de involucra la intervención de personal técnico capacitado para mostrar los beneficios de la cocina de inducción y despejar las dudas creando ambiente seguro con esta nueva tecnología que se quiere implantar en cada hogar.

El consumo de energía eléctrica se ve reflejado en el buen uso y conciencia de la ciudadanía con respecto al ahorro y la eficiencia energética que la misma realice, ya que

la mayor parte de la demanda se encuentra justamente en este sector y el buen uso que se pueda dar es en si la eficiencia que se logra.

Si tomamos en cuenta el crecimiento horizontal y vertical de edificaciones y servicios que se prestan en las mismas, apreciaremos la dimensión del consumo energético y su aumento, sin embargo, para contrarrestar este impacto que asocia mayor producción de energía con la evolución de sistemas que permitan el ahorro de la misma, obtendremos una disminución en el impacto ambiental que todo este círculo contiene. [6]

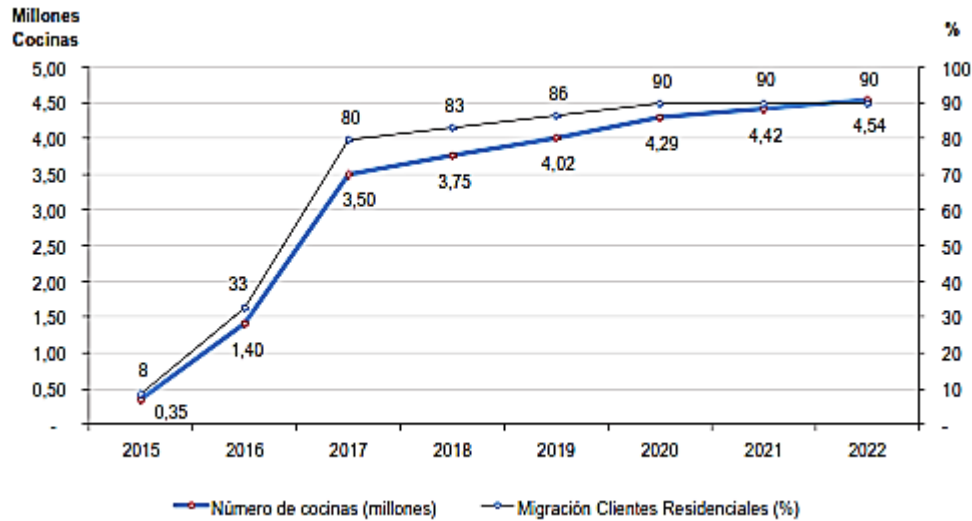
La cocina a inducción es un paso a la disminución de emisión de gases, disminuyendo el impacto ambiental y el calentamiento que sufre nuestro planeta, además de sustituir de forma parcial o total la utilización de GLP subsidiado.

La socialización y demostración del uso de la tecnología a todas las familias de la zona de influencia del proyecto, para posteriormente entregar las cocinas de inducción a las familias que voluntariamente desearon participar en el proyecto.

1.2.5 Demanda Promedio Mensual de Energía (kWh)

El consumo de una cocina de inducción de 1,2 kW de potencia, el consumo de energía fue en un promedio de 80 kWh/mes en el centro poblado considerando como urbano marginal y de 60 kWh/mes en la zona rural.

Según el estudio realizado por el CONELEC se proyecta una migración aproximada para el 2017 del 80% de los clientes residenciales a nivel nacional y la entrega de 3.5 millones de cocinas.



Figural. 6 Curva de Penetración de Cocinas en el S.N.I.

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2013,» Central, Quito , 2014

La demanda de energía mensual promedio por cocina, se obtiene del equivalente energético en kWh del producto entre el consumo mensual promedio de GLP por hogar y la relación entre las eficiencias de la cocción con GLP y con electricidad.

El consumo promedio de GLP por hogar ($CP_{GLP/H}$), es la relación entre el consumo de GLP del sector doméstico (CP_{GLP}) y el número de hogares que usan GLP para cocción (NH_{GLP}). Así como se muestra en la ecuación (1.6):

$$CP_{GLP/H} = CP_{GLP} / NH_{GLP} \quad (1.6)$$

Según la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, en el 2011, el consumo de GLP del sector doméstico fue de 929.505 toneladas. Se asume que el 80%, 743.604 toneladas de GLP se destina para la cocción de alimentos.

Sectores	Capacidades (t)					Total (t)	Porcentaje (%)
	Cil. 15 kg	Cil. 45 kg	Al granel	otras	Benef.		
Agro Industria	9	-	12.838	-	-	12.847	1,25
Beneficencia	-	-	-	-	110	110	0,01
Comercial	3.575	7.762	2.981	-	-	14.319	1,39
Doméstico	923.363	20	6.121	-	-	929.505	90,30
Industrial	3.095	1.683	54.991	3.040	-	62.810	6,10
Vehicular	-	-	9.795	-	-	9.795	0,95
Total	930.042	9.466	86.727	3.040	110	1.029.385	100,00

Figura1. 7 Consumo de GLP a nivel nacional por sectores, año 2011

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2013,» Central, Quito , 2014

Según el Censo de Población y Vivienda 2010, el número de hogares que usaron GLP, como fuente de energía para cocinar, se ubicó en 3.466.737.

Fuentes de energía	Número de hogares	Porcentaje (%)
GLP	3.466.737	90,98
Leña o carbón para cocinar	259.216	6,80
Electricidad	16.223	0,43
Otros	68.372	1,79
Total de hogares	3.810.548	100,00

Figura1. 8 Fuentes de energía para cocción

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2013,» Central, Quito , 2014

1.3 Diferencial energético de la Cocina a Inducción y la Cocina a GLP

De la proyección de viviendas del Modelo de proyección de demanda eléctrica del CONELEC, y de la información del Censo de Población y Vivienda 2010, mediante extrapolación se obtiene el número de hogares que usaron GLP como fuente de energía para cocinar en el 2011, resultando aproximadamente 3.673.000. [7]

Entonces para el 2011 tenemos:

$$CP_{GLP} = 743.604 \text{ t}$$

$$NH_{GLP} = 3.673.000 \text{ hogares}$$

$$CP_{GLP/H} = 202,45 \text{ kg}$$

O, su equivalente en cilindros de 15 kg

$$CP_{GLP/H} = 13,5 \text{ Cil15 kg por año}$$

$$CP_{GLP/H} = 1,12 \text{ Cil15 kg por mes}$$

Para obtener el consumo mensual promedio de GLP por hogar en kWh, se considera un poder calórico del GLP de 45,67 GJ/kg y un factor de conversión de unidades energéticas de 3,6 GJ/MWh, resultando que 1 Cilindro de 15 kg equivale a 190,29 kWh. Por lo tanto, el consumo mensual promedio por hogar en kWh es según la ecuación (1.7):

$$1,12 \text{ Cil}_{15\text{kg}} \times 190,29 \text{ kWh/Cil}_{15\text{kg}} = 212,61 \text{ kWh} \quad (1.7)$$

La eficiencia en la cocción de alimentos varía según el tipo de equipo, la fuente de energía, forma y condiciones de uso. La eficiencia de una cocina a GLP es aproximadamente $\eta_{GLP} = 39,87\%$ (para una potencia de entrada equivalente a 475 W; y, la eficiencia de una cocina de inducción de uso doméstico tipo D es de $\eta_{GLP} 84\%$. La relación entre las eficiencias de las cocinas a GLP y a electricidad es:

$$\eta_{GLP/} \eta_{GLP} = 0,47. \quad (1.8)$$

La demanda de energía mensual promedio por cocina resulta del producto del consumo mensual promedio por hogar en kWh por la relación $\eta_{GLP/} \eta_{GLP} = 0,47$:

$$212,61 \text{ kWh} \times 0,47 = 100,91 \text{ kWh}$$

Los datos precedentes elaborados por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable se concluye que el consumo promedio de las cocinas eléctricas fluctúa entre los 10 y 100 kWh. [4]

1.3.1 Uso de GLP para Cocción en el Sector Residencial. [8]

El 96% de la demanda del Gas Licuado de Petróleo (GLP) se destina al sector doméstico o residencial y el restante 4% se destina para uso industrial y comercial. Sin embargo en forma real se estima el 59% se destina para el sector doméstico, 11% al uso industrial y comercial, 8% al vehicular y el 22% hacia el contrabando por las fronteras.

El subsidio se evidencia por los costos elevados de producción e importación del GLP comparados con la venta interna, ya que el cilindro de 15 kg se vende en USD 1,60 mientras que el costo real es de USD 12,00.

Según el INEC a continuación se presenta el uso de GLP según los estratos socioeconómicos en el cual se refleja con el 97,65% para la preparación de alimentos.

Quintiles	Cocinar	Negocio	Vehículo	Calefón	Total
20% más pobre	97,65%	2,32%	0,00%	0,03%	100%
2do. Quintil	94,04%	3,08%	2,71%	0,17%	100%
3er. Quintil	93,12%	6,11%	0,00%	0,77%	100%
4to. Quintil	92,61%	5,74%	0,00%	1,65%	100%
20% más rico	78,03%	9,23%	0,28%	12,46%	100%
País	88,99%	6,10%	0,53%	4,39%	100%

Tabla 1.2 Quintiles del Uso de GLP en el sector Residencial.

Fuente: J. P. Muñoz Vizhñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.

1.3.2 Eficiencia de la Cocina de Inducción.

La eficiencia de la cocina de inducción ha evolucionado con el transcurso del tiempo y se ha determinado según el Departamento de Energía de Estados Unidos que la eficiencia típica de estufas de inducción es de un 84%, frente a las estufas de gas que es del 40%.

La cocina de inducción presenta mayor velocidad de calentamiento, además presenta un sistema de protección electrónica dando mayor seguridad para su uso al contrario de la cocina de gas que emite una llamarada por la combustión que realiza.

1.4 Perspectivas de la Matriz Energética Ecuatoriana.

El Ecuador a través de su Plan del Buen Vivir 2013-2017 tiene establecidos objetivos en los que señala que la participación de las energías renovables debe incrementarse en la producción nacional. Para el cumplimiento de este objetivo, los proyectos hidroeléctricos del Plan Maestro de Electrificación deben ejecutarse e impulsarse los proyectos de utilización de otras energías renovables como geotermia, biomasa, eólica y solar. [4]

1.4.1 Energía Hidroeléctrica

El potencial hídrico que técnica y económicamente es aprovechable en el Ecuador llega a los 21,5 GW de lo cual se encuentra instalado hasta el 2012 solamente 2,25 GW(10,4% de aprovechamiento). Mediante la construcción de grandes proyectos como el caso de Coca Codo Sinclair (1,5 GW) aumentara el potencial. [8]

Proyecto	Inversion (Millones USD)	Capacidad (MW)	Energía (GWh/año)	Equivalente (Miles BEP)	Provincia
Rio Zamora	2.245,00	2000	10512	6514	Morona Santiago
Coca Codo Sinclair	1.979,70	1500	8731	5410	Napo
Delsi Tanisagua	230,00	115	904	560	Zamora Chinchipe
Manduriacu	120,00	60	315	195	Pichincha e Imbabura
Quijos	118,28	50	355	220	Napo
Verdeyacu Chico	1.293,00	1140	5992	3713	Napo
Naiza	1.148,00	1039	5461	3384	Morona Santiago
Gualaquiza	892,00	661	3474	2153	Morona Santiago
Sopladora	735,19	487	2800	1735	Azuay
San Miguel	798,00	686	3606	2234	Morona Santiago
Catachi	758,00	748	3931	2436	Napo
Chespi-Palma Real	747,00	460	2418	1498	Pichincha
Cardenillo	690,00	400	2102	1303	Morona Santiago
Toachi Pilaton	517,00	253	1120	694	Pichincha
El Retorno	480,00	261	1372	850	Zamora Chinchipe
Minas-San Francisco	477,30	270	1290	799	Azuay
Macabeli	462,00	163	857	531	El Oro
Baba	420,00	42	221	137	Los Rios
TOTAL	14.110,47	10335	55461	34366	

Tabla 1.3 Principales Proyectos Hidroeléctricos en el Ecuador.

Fuente: J. P. Muñoz Vizhñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.

El potencial descrito asciende a 10,33 GW, capacidad de producción de 55,46 TWh al año equivalente a 34,36 M BEP con una inversión estimada de USD 14.110,47 millones.

El potencial de la tabla es aproximadamente el 50% del potencial total estimado técnico y económicamente factible en el Ecuador, así mismo este valor representa el 181% de la capacidad efectiva instalada hasta el 2012 en el Ecuador (5,8%GW).

En la región Amazónica se encuentran los ríos más caudalosos y la sumatoria de todos los caudales de los ríos que transitan por esta región es aproximadamente el 73% del caudal medio que se origina en el territorio continental ecuatoriano. Sin embargo la zona de mayor potencial para generación de hidroelectricidad es la Sierra, especialmente en la región interandina donde se forman prácticamente la totalidad de ríos con los que cuenta el Ecuador.

Según la tabla el equivalente energético aportado a la matriz energética ecuatoriana luego de su construcción con 34,4 M BEP, este valor es el 14,4% de la oferta energética cifrada en el Ecuador para el 2012.

Entre el 2013 y 2016 se incorporarán al S.N.I 3,223 MW esencialmente de energía renovable con inversión pública. Hasta el 2018 se estima se incorporaran 394 MW proveniente de inversión privada. Inversión destinada a la construcción de ocho centrales hidroeléctricas con una inversión de USD 4983 millones, con lo cual casi se duplicará la capacidad instalada en el Ecuador que actualmente es de 5,8 GW. [4]

1.4.2 Energía Solar.

La solución para mitigar los gases de efecto invernadero en el mundo es justamente las energías renovables, las cuales disminuyen el impacto ambiental en la producción de energía eléctrica.

Los grandes avances tecnológicos y la reducción de los costos para la implementación de generación de electricidad se han convertido en una opción atractiva para el Ecuador.

El Ecuador tiene potencial para transformar su matriz energética actualmente constituida por combustibles fósiles por fuentes renovables y limpias.

Al momento se encuentra en marcha varios proyectos con lo último en tecnología fotovoltaica como son:

- ➔ Paneles de techo solar en comunidades del golfo de Guayaquil*
- ➔ Electricidad para 91 comunidades aisladas (66 en la Amazonia y 25 en la Costa)*
- ➔ Proyecto Yanstsa Ejecutado en el 2008 en 119 centros Shuar*

El atlas solar fue desarrollado a través del CONELEC cuyo estudio fue realizado por el National Renewable Energy Laboratory – NREL de los Estados Unidos. El NREL desarrollo el modelo (Climatological Solar Radiation Model), que permite conocer la insolación diaria sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40Km por 40 Km y cuyos resultados fueron validados a través de la medición de datos efectuadas por estaciones.

En el Atlas Solar podremos observar las zonas con mayor insolación en el país y por tanto con mayor potencial para generación fotovoltaica como el caso de las provincias de Loja, Imbabura, y Carchi.

A continuación en el atlas podremos observar que el valor medio aproximado de la radiación solar global en Ecuador es de 4575 Wh/m² día; sin embargo, se presenta variaciones de más de un 30% de unos lugares a otros en el Ecuador continental, y de más del 40% si se comparan con las islas Galápagos.

El potencial solar estimado en Ecuador es de 312 GW equivalente a 465 TWh por año considerando las zonas de terrenos sin afectar la soberanía alimentaria. [4]

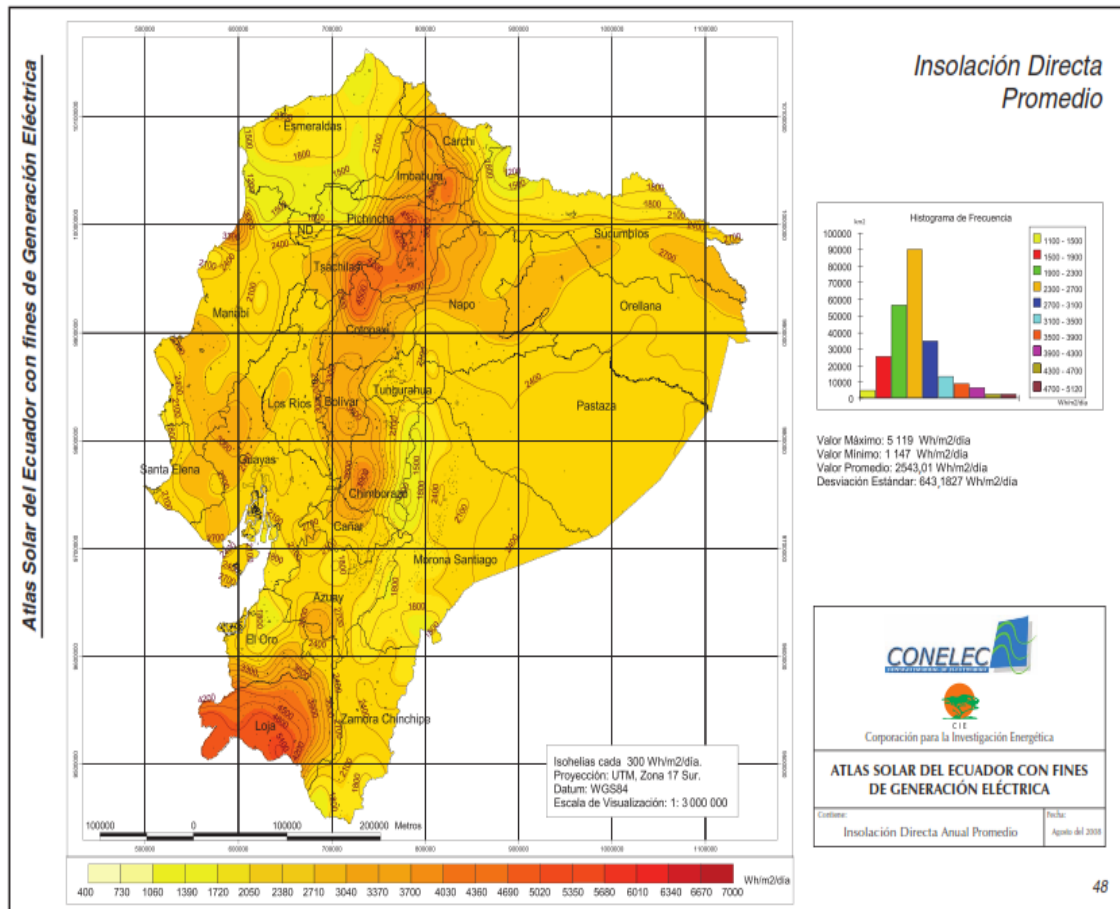


Figura1. 9 Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica.

Fuente: J. P. Muñoz Vizñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.

1.4.3 Energía Eólica.

El Ecuador tiene potencial eólico para transformar su matriz energética actualmente constituida por combustibles fósiles por fuentes renovables y limpias.

La orografía del Ecuador ha sido dividida en 4 zonas climáticas bien definidas, con características particulares.

1. *La Zona Oriental o Amazónica: la frondosa vegetación selvática influye de forma decisiva en la disminución de la velocidad de los vientos alisios en los niveles más cercanos al suelo.*
2. *La Zona de la Sierra: La Cordillera de los Andes comprime los vientos y produce una aceleración de los mismos. Estos vientos de alta velocidad se producen en emplazamientos muy elevados, donde además existe dificultad del acceso a los*

mismos, la energía del viento disminuye proporcionalmente por el descenso de la densidad resultado de la altitud.

3. *La Zona de la Costa: interactúan los vientos alisios del este con dos circulaciones locales: la brisa que se establece por el contraste de temperaturas entre el continente y el océano, y la circulación valle montaña por la influencia de la Cordillera de los Andes.*
4. *Islas Galápagos, que reúnen tres características importantes para entender su distribución de viento: son islas, volcánicas y bajo la influencia de los alisios.*

El potencial Eólico preparado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER, 2012) presenta estimaciones en dos escenarios: a) el Potencial Bruto Total y b) el Potencial Factible a Corto Plazo. El primero considera todos los sitios bajo 3500 msnm, con velocidades mayores a 7,0 m/s. El segundo escenario, además de estas restricciones, considera los sitios que están a una distancia menor o igual a 10 Km de la red eléctrica y carreteras. [8]

Velocidad Viento (m/s)	Potencial Bruto			Potencial Factible a Corto Plazo		
	Área (Km ²)	Potencial Instalable (MW)	Energía Anual (GWh/año)	Área (Km ²)	Potencial Instalable (MW)	Energía Anual (GWh/año)
> 7.0	556,99	1670,96	2868,98	294,74	884,22	1518,17
> 7.5	309,96	929,87	1995,68	158,5	475,51	1020,54
> 8.0	166,54	499,61	1286,72	82,64	247,91	638,47
> 8.5	91,59	274,76	825,57	45,35	136,06	408,81

Tabla 1.4 Potencial Eólico Eléctrico Estimado del Ecuador.

Fuente: J. P. Muñoz Vizhñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.

Del potencial citado (1670 MW), aproximadamente el 50% (880,19 MW) se encuentra en la provincia de Loja, como por ejemplo el Parque Eólico Villonaco ubicado a 2720 msnm y que actualmente es el más grande en su clase en el país con 11 aerogeneradores con una capacidad instalada de 16,5 MW y una inversión de USD 44 millones aporta energía desde el 2013.

Los proyectos eólicos en su mayoría de casos se encuentran alejados de los sistemas de transmisión o distribución por lo que se vuelve dificultoso el poder evacuar la energía en grandes bloques.

A continuación se presenta el Mapa Eólico del Ecuador donde se aprecia el potencial que tenemos.

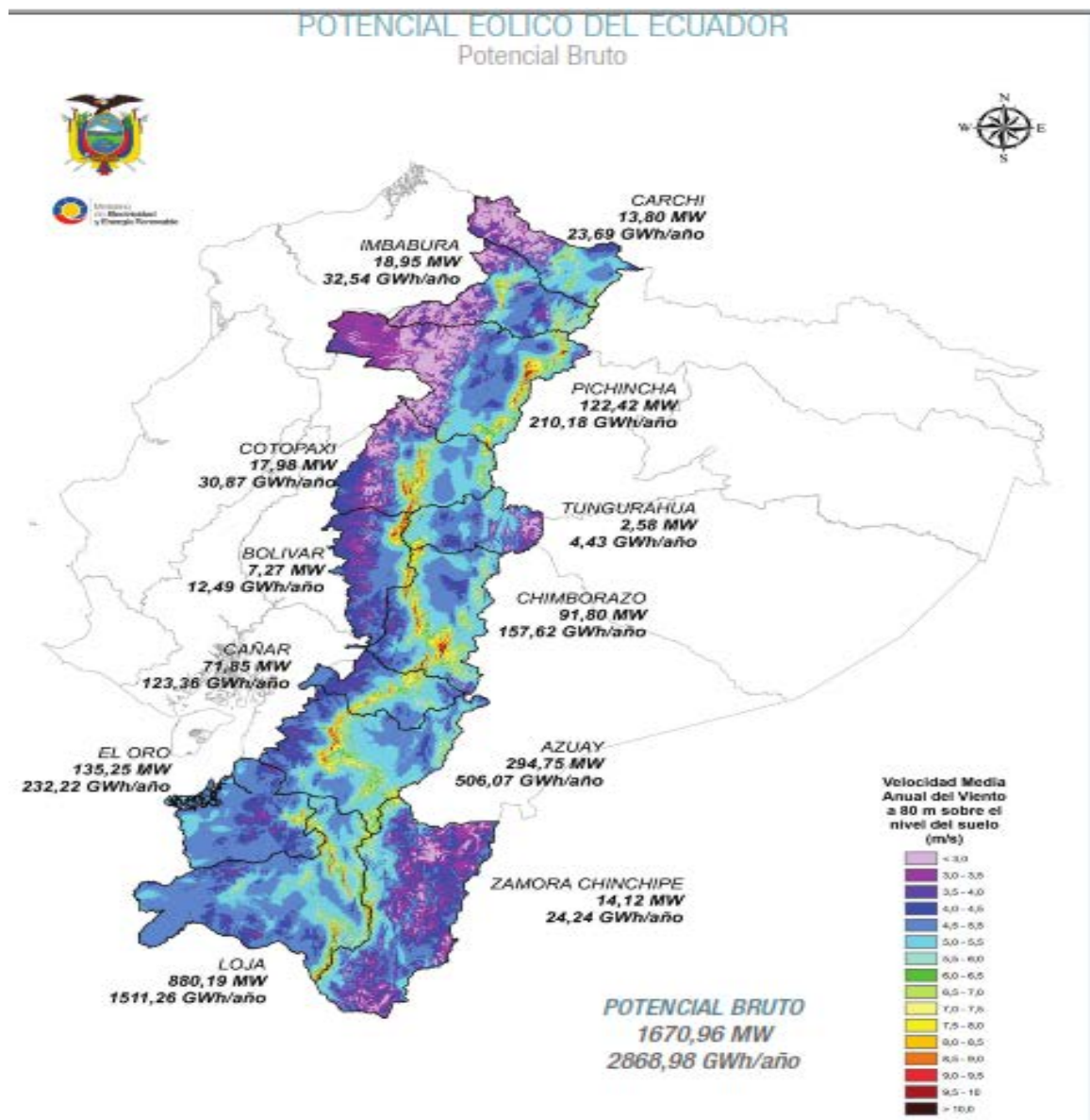


Figura 1. 10 Potencial Eólico del Ecuador.

Fuente: J. P. Muñoz Vizhñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.

1.4.4 Biogás.

El 85 % de los residuos sólidos generados en el Ecuador, se arrojan en cuerpos de aguas, quebradas, terrenos baldíos y basureros clandestinos, causando graves problemas sanitarios y ambientales afectando a los recursos naturales y a las poblaciones vecinas. Tan solo el 15% de los residuos sólidos se disponen en rellenos sanitarios sin que ello garantice que existan adecuados procesos de gestión de residuos, e inclusive muchas veces los rellenos sanitarios mal gestionados generan los mismos problemas que los botadores clandestinos en el ecosistema y las comunidades circundantes. El manejo integral de residuos sólidos, lastimosamente aun no constituye una prioridad en el país. (Cita que cito el autor Ilojo)

La Empresa Pública de Aseo de Cuenca no se limitó a tener un relleno sanitario por el contrario lograron varias certificaciones internacionales y de manejo sanitario con una gestión de calidad, control medioambiental eficaz, cuidado de la salud y seguridad laboral.

Aprovecha la generación de biogás para la producción de energía eléctrica con 2 MW, la disponibilidad estimada será de 864 m³/h de biogás, con una inversión de USD 2,7 millones. [8]

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA

2.1 Índices de Calidad de la Energía.

Los índices de la calidad del servicio eléctrico dependen técnicamente de dos factores como es la continuidad y la confiabilidad del servicio.

2.1.1 Confiabilidad

Es la probabilidad que un elemento o sistema que opera bajo parámetros o condiciones, no falle en un determinado lapso. Está representada por una función exponencial decreciente, que representa la probabilidad de operar en óptimas condiciones desde el inicio de puesta en marcha y que disminuye esta probabilidad a medida que transcurre el tiempo debido al desgaste de sus componentes ya sea por factores externos o la vida útil del mismo.

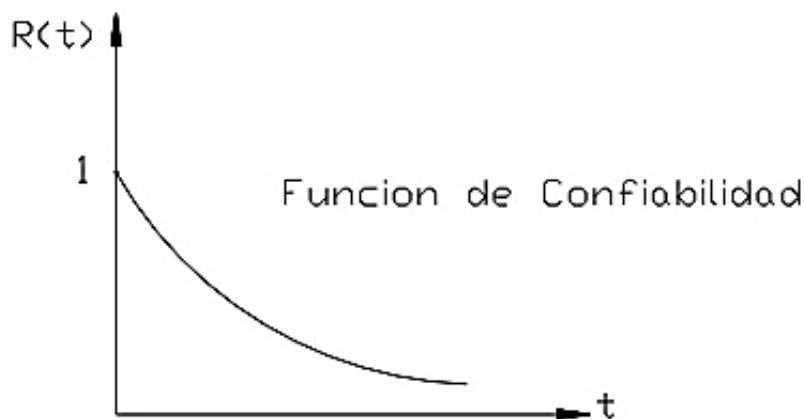


Figura2. 1 Función de Confiabilidad de un elemento aislado.

Fuente: D. X. Morales Jadán, «Cálculo de la energía no suministrada por la empresa eléctrica regional CENTROSUR C.A. utilizando el GIS como Herramienta Informática,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2009.

2.1.2 Continuidad

Es la calidad del servicio eléctrico, considerando que el suministro eléctrico es esencial para el funcionamiento de nuestra sociedad tomando en cuenta que los diferentes sectores como el industrial dependen de la continuidad y calidad del servicio para su producción.

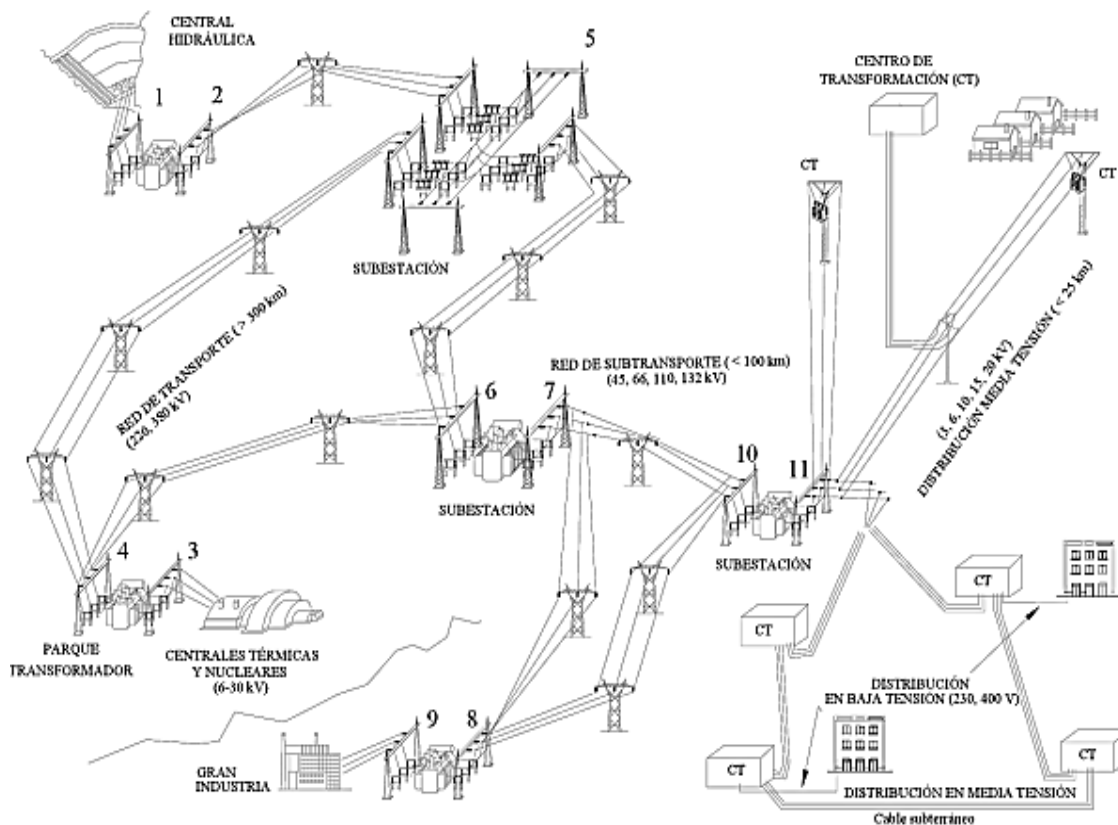


Figura2. 2 Sistema de Suministro Eléctrico

Fuente: F. Barrero Gonzáles, Sistema de Energía Eléctrica, Madrid: Paraninfo, 2004.

La confiabilidad del sistema eléctrico constituye y garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad del servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas.

Como es evidente el sistema eléctrico debe ser robusto, confiable y debe suministrar energía de forma continua, de esta forma la calidad del servicio está garantizada.

El CONELEC es la entidad encargada de controlar los índices de calidad de la energía que son:

- *Nivel de Voltaje*
- *Perturbaciones de Voltaje*
- *Factor de Potencia.*

2.1.3 Nivel de Voltaje

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. [11]

El índice de calidad de voltaje se determina de la ecuación (2.1).

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_{k+} V_n}{V_s} * 100 \quad (2.1)$$

Dónde:

ΔV_k : *variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.*

ΔV_k : *voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.*

V_n : *voltaje nominal en el punto de medición.*

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Tabla2. 1 Variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje.

Fuente: CONELEC, «Resolución No. 0116/01,» CONELEC, Quito, 2001.

2.1.4 Perturbaciones

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC; mismo que es determinado mediante la ecuación (2.2): [11]

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2.2)$$

Dónde:

P_{st} : Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

El efecto flicker es la fluctuación de la luminancia produce fluctuaciones bruscas de la tensión de la red y básicamente se consideran las fluctuaciones menor al 10% y por periodos de tiempo inferiores a 1 hora.

2.1.5 Factor de Potencia

El Factor de Potencia (FP) es la relación entre las Potencias Activa (P) y Aparente (S). Si la onda de corriente alterna es perfectamente senoidal, FP y Cosφ coinciden.

Si la onda no fuese perfecta S no estaría únicamente compuesta por P y Q, sino que aparecería una tercera componente suma de todas las potencias que genera la distorsión. A esta componente de distorsión le llamaremos D. Se define el factor de potencia en la ecuación (2.3).

$$f.d.p = \frac{P}{|S|} = \cos(\theta) \quad (2.3)$$

Donde θ es el ángulo entre la potencia activa P y el valor absoluto de la aparente S.

Si las ondas de voltaje y corriente son puramente senoidales entonces se define la ecuación (2.4):

$$\theta = \theta_v - \theta_i \quad (2.4)$$

Donde θ_v , es el ángulo de voltaje y θ_i es el ángulo de la corriente.

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad, el valor mínimo es de 0,92.

2.2 Distorsión Armónica Total de Tensión y de Corriente.

El crecimiento de los dispositivos electrónicos en los últimos años ha dado lugar a un cambio significativo de los tipos de cargas conectadas al sistema de distribución eléctrico como es el caso de la cocina de inducción.

Estos dispositivos están equipados con rectificadores, moduladores, en definitiva una electrónica que distorsionan la forma de onda de la corriente.

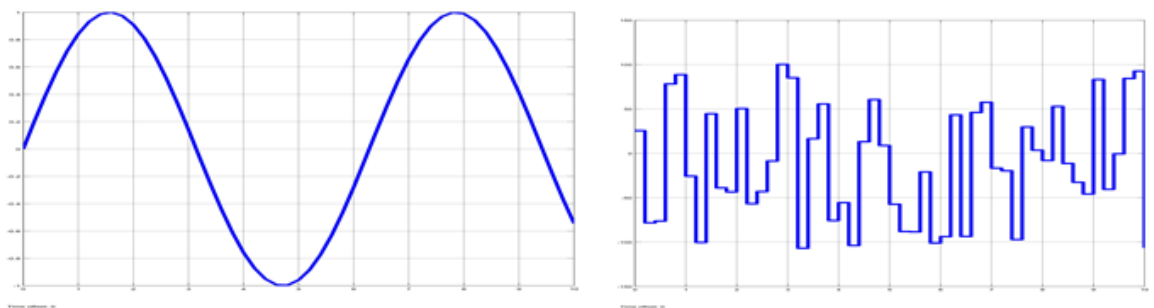


Figura2. 3 Forma de onda ideal y forma de onda distorsionada.

Fuente: Propia de Autor

2.2.1 Definición de Armónico

Los armónicos son señales de tensión o corriente sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia para la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar (60 Hz) las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la frecuencia fundamental y los armónicos.

La distorsión armónica se origina en las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia. Estas perturbaciones son causadas generalmente por equipos o cargas que tienen un funcionamiento con una característica tensión - corriente no lineal. Estos equipos pueden ser considerados como fuentes de armónicos de corriente y en algunos casos como fuentes de armónicos de tensión dependiendo de su impedancia al armónico en cuestión.

Los armónicos de corriente provenientes de diferentes fuentes producen caídas de tensión armónicas en la impedancia del sistema, distorsionando, la forma de onda de tensión. Los armónicos de corrientes provenientes de diferentes fuentes en general o tienen la misma fase y deben tratarse como favores (sus efectos se suman vectorialmente).

Debido a la conexión de cargas reactivas capacitivas (tales como capacitores para corrección del factor de potencia), o el efecto de la capacidad de los cables, pueden ocurrir condiciones de resonancia paralelo o serie en la red y provocar aumentos o magnificación de la tensión de armónicos, incluso en puntos lejanos de la carga distorsionante. [13]

2.2.2 Orden del Armónico

Los armónicos se clasifican por su orden, frecuencia y secuencia.

Orden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	n
Frecuencia	50	100	150	200	250	300	350	400	450	50*n
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Tabla2. 2 Parámetros de los armónicos más usuales

Fuente: A. A. Pérez Miguel, N. Bravo de Medina y M. Lorente Antón, La Amenaza de los Armónicos y sus soluciones, Madrid: Paraninfo, 2000

El orden del armónico es el número entero de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la de la componente fundamental. Por ejemplo, el armónico de orden 7 es aquel cuya frecuencia es 7 veces superior a la de la componente fundamental, o lo que es lo mismo, si la fundamental es de 50 Hz el armónico de orden 7 tendría una frecuencia de

350 Hz. En una situación ideal donde solo existiera señal de frecuencia 50 Hz, solo existiría el armónico de orden 1 o armónico fundamental.

Se observa en la tabla que hay dos tipos de armónicos los pares y los impares. Los armónicos impares son los que se encuentran en las instalaciones eléctricas, industriales y edificios comerciales. Los armónicos pares solo existen cuando hay asimetría en la señal debido a la componente continua. [13]

La secuencia puede ser positiva negativa o neutra. Si se utiliza como ejemplo un motor asíncrono trifásico de 4 hilos, entonces, los armónicos de secuencia positiva tienden a hacer girar al motor en el mismo sentido que la componente fundamental. Como consecuencia provocan una sobre corriente en el motor que hace que se caliente y por lo tanto reduce su vida útil de funcionamiento y puede poner en peligro el aislamiento de los devanados del motor con el consiguiente riesgo de avería. Provocan en general calentamiento en cables, motores, transformadores, etc. Los armónicos de secuencia negativa hacen girar al motor en sentido contrario al de la componente fundamental, y por lo tanto frenan el motor y por ello también provocan calentamiento s. Los armónicos de secuencia neutra, 0, o también llamados homopolares, no tienen efectos sobre el giro del motor, pero suman en el hilo de neutro. Ello supone que por el conductor del neutro puede circular 3 veces más corriente del tercer armónico que por cualquiera de los conductores, deterioro de la fase. Provocan calentamiento de los conductores, deterioro de la maquinaria y destrucción de las baterías de condensadores. [13]

2.2.3 Espectro Armónico

El espectro armónico permite descomponer una señal en sus armónicos y representarlos mediante un gráfico de barras, donde cada barra representa un armónico, con la frecuencia, un valor eficaz, magnitud y desfase.

A continuación se observa en la figura un espectro armónico donde se puede evidenciar el 5to armónico alcanzando un valor del 25% en tensión.

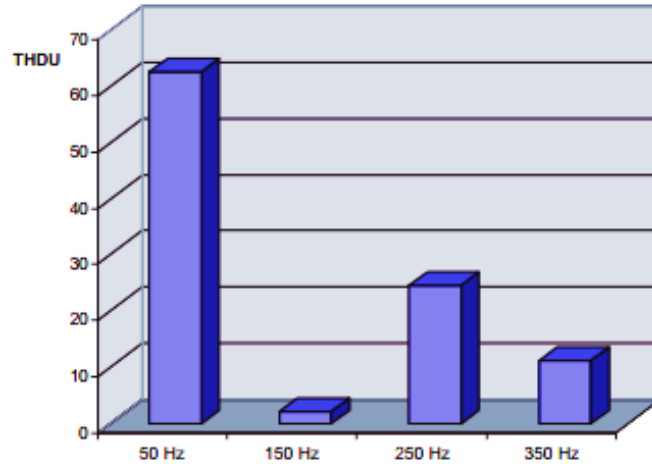


Figura2. 4 Espectro Armónico.

Fuente: RTR Energía, «RTR Energía,» 1 12 2012. [En línea]. Available: http://www.rtrenergia.es/rtr/ficheros/armonicos_2012.pdf. [Último acceso: 04 11 2014].

2.2.4 Tasa de Distorsión Armónica en Tensión

La tasa de distorsión armónica se define como la relación en tanto por ciento (%) de la tensión en valor eficaz de la frecuencia del armónico correspondiente y la tensión el valor eficaz de la tensión correspondiente a la frecuencia de la fundamental (50/60 Hz), según la ecuación (2.5).

$$HD V_n \% = \frac{V_{ca} f_n}{V_{ca} f_{60}} * 100 \quad (2.5)$$

2.2.5 Tasa de Distorsión Armónica en Corriente

La tasa de distorsión armónica en corriente es la relación en tanto por ciento (%) de la corriente en valor eficaz de la frecuencia del armónico correspondiente y la corriente del valor eficaz de la corriente correspondiente a la frecuencia de la fundamental (50/60 Hz), según la ecuación (2.6).

$$HD I_n \% = \frac{I_{ca} f_n}{I_{ca} f_{60}} * 100 \quad (2.6)$$

2.2.6 Tasa Total de Distorsión Armónica (THD)

Se definió para poder cuantificar numéricamente los armónicos existentes en un determinado punto de medida, es la relación entre el valor eficaz del residuo armónico de la tensión y/o corriente y el valor de la componente fundamental según la ecuación (2.7).

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_i^2}}{V_n} * 100 \quad (2.7)$$

Dónde:

V_i : factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje.

V_i : Valor eficaz rms del armónico “i” (para $i=2.....40$) expresado en voltios.

V_n : Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

El THD, representa la distorsión total armónica con respecto a la componente fundamental.

Para la corriente este índice define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. Este valor es usualmente expresado como un porcentaje de la onda fundamental. Así para la onda de corriente será, según la ecuación (2.8).

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} * 100\% \quad (2.8)$$

Dónde:

K : número de armónica.

I_1 : valor eficaz de la onda fundamental de corriente.

I_k : valor eficaz del armónico k .

El THD_I puede variar desde unidades porcentuales hasta superar el 100%, como ocurre en las fuentes de potencia conmutadas.

Aunque los armónicos de corriente de frecuencia más elevada pueden tener valores pequeños, al ser las reactancias de la línea y de los transformadores proporcionales a la frecuencia, los armónicos de tensión pueden tomar valores significativos. De forma similar se expresa la distorsión en la tensión según la ecuación (2.9).

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty} V_K^2}}{V_1} * 100\% \quad (2.9)$$

El Conelec establece que los valores (rms) de los voltajes individuales V_i y los THD que deben ser expresados como porcentaje no deben pasar los límites expresados en la siguiente tabla 2.3

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD $	
	(% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V < 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3

21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Tabla2. 3Límites de la variación armónica.

Fuente: CONELEC regulation 004/01

2.2.7 Factor de Diversidad (FD)

Las dispersiones en el ángulo de fase de los armónicos de cargas individuales provocan una disminución de las corrientes armónicas en la red. Este efecto, conocido como diversidad, se debe principalmente a diferencias en los parámetros del sistema de distribución y a los de la propia carga.

El factor de diversidad de corriente (FD_k) se define para cualquier armónico k y un conjunto de n cargas conectadas en paralelo, como la magnitud del fasor de la corriente de red, dividido por la suma de magnitudes de las corrientes individuales, para el mismo orden de armónico de acuerdo a la ecuación (2.10).

$$FD_k = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \overrightarrow{I_{k(i)}}}{\sum_{i=1}^n |I_{k(i)}|} \right| \quad (2.10)$$

Este factor varía entre 0 y 1. Un bajo valor de este índice implicará una cancelación importante para el armónico bajo análisis.

2.2.8 Factor de Atenuación (FA)

La atenuación es provocada por la propia impedancia del sistema de potencia y por la correspondiente distorsión de tensión que tiende a reducir las corrientes armónicas en la red producida por cargas no lineales.

El factor de atenuación FA_k para el armónico k está definido como la magnitud de la corriente total del armónico k cuando n cargas idénticas están conectadas en paralelo, dividida por n veces la magnitud de la corriente de una única carga de acuerdo a la ecuación (2.11).

$$FA_k = \frac{I_{k(n)}}{n I_{k(1)}} \quad (2.11)$$

Dónde:

$I_{k(n)}$: corriente para el armónico k con n cargas conectadas en paralelo.

$I_{k(1)}$: corriente para el armónico k con una sola carga conectada.

Con los factores de atenuación y diversidad es posible cuantificar el error que se comete al analizar los índices de distorsión (corriente y tensión) utilizando la técnica de inyección de armónicos como fuentes de corrientes fijas respecto al método de modelos reales.

2.3 Factor de Potencia

Las cargas no lineales como la cocina de inducción y demás equipos electrónicos de uso masivo en el sector residencial hacen que cada usuario residencial presente un factor de potencia bajo.

Para regular este y otros parámetro se creó un reglamento técnico que establece los requisitos mínimos que den cumplir los artefactos para cocción por inducción, con el propósito de no alterar el factor de potencia ya que tiene que ser igual o mayor a 0,98 en operación normal del equipo.

La Distorsión Armónica Total (THD) no podrá superar el 3% con respecto a la fundamental para el diferencial de potencial eléctrica y 5% para la corriente en operación normal del equipo. [15]

2.3.1 Potencia Activa

Es la potencia que consume una carga durante un periodo de tiempo, esta potencia no puede ser negativa, los medidores de energía eléctrica para los usuarios residenciales miden únicamente esta potencia de acuerdo a la ecuación (2.12). [16]

$$P = V * I_1 * \cos \varphi \quad (2.12)$$

Dónde:

P = Potencia activa [W]

V = Voltaje [V]

I₁ = Corriente fundamental [A]

φ = ángulo comprendido entre P (Potencia Activa) y S (Potencia Aparente)

2.3.2 Potencia Reactiva

Cuando un circuito contiene bobinas, capacitores, o ambos tipos de elementos, una parte de la energía consumida durante un ciclo se almacena en ellos y, posteriormente, regresa a la fuente. Durante este periodo de retorno de la energía, la potencia es negativa, razón por la cual los motores y otras máquinas necesitan esta potencia para su funcionamiento de acuerdo a la ecuación (2.13). [16]

$$Q = V * I_1 * \sin \varphi \quad (2.13)$$

Dónde:

Q = Potencia reactiva [VAR]

V = Voltaje [V]

I₁ = Corriente fundamental [A]

φ = ángulo comprendido entre P (Potencia Activa) y S (Potencia Aparente)

2.3.3 Potencia Aparente

Esta potencia considera la tensión nominal que necesitan los equipos para la corriente que ellos mismos demandan, esta potencia es lo que limita la utilización de transformadores, líneas de alimentación y demás elementos componentes de los circuitos eléctricos de acuerdo a la ecuación (2.14). [17]

$$S = V * I \quad (2.14)$$

Dónde:

S = Potencia aparente [VA]

V = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

Las potencias activa, reactiva, y aparente pueden ser gráficamente representadas mediante el triángulo de potencias como se muestra en la siguiente figura:

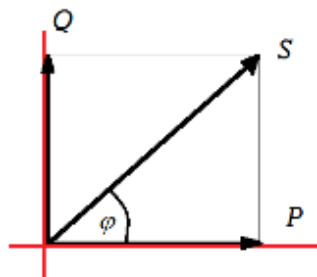


Figura2. 5 Triangulo de potencias

Fuente: F. V. Vera, Efectos del empleo de focos ahorradores, Estudio tecnico experimental en instalaciones, Cuenca: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2011.

2.3.4 Factor de Potencia de Desplazamiento

Una vez que se revisó los conceptos anteriores, el factor de desplazamiento es el coseno del ángulo φ por tanto de acuerdo a la ecuación (2.15).

$$FPD = \frac{P}{S} \quad (2.15)$$

Dónde:

FPD = Factor de potencia de desplazamiento.

P= Potencia activa.

S= Potencia aparente.

2.3.5 Corrección del Factor de Potencia

Cuando analizamos a las cargas no lineales, no es suficiente compensar el factor de potencia de desplazamiento, ya que aunque compensemos el factor de potencia por desplazamiento de toda la componente fundamental de I (con $\cos \varphi = 1$), el factor de potencia total será inferior a 1, pues no se ha compensado el factor de potencia generado por los armónicos.

Hay que tener mucho cuidado al compensar el factor de potencia de desplazamiento cuando se encuentran presentes cargas no lineales grandes generadoras de armónicos, porque se puede causar resonancia en paralelo con los capacitores colocados para la compensación.

Los equipos destinados a ese fin se denominan filtros de armónicos y su función es disminuir en la red el contenido de las corrientes armónicas que la carga no lineal introduce, atenuando de esta forma los efectos perjudiciales que detallaremos más adelante. [17]

2.4 Tensión Eficaz y Corriente Eficaz

En electricidad y electrónica, en corriente alterna, a la raíz cuadrada del valor cuadrático medio (en inglés root mean square, abreviado RMS o rms), de una corriente variable se denomina valor eficaz y se define como el valor de una corriente rigurosamente constante (corriente continua) que al circular por una determinada resistencia óhmica pura produce los mismos efectos caloríficos (igual potencia disipada) que dicha corriente variable (corriente alterna). [3]

De esa forma una corriente eficaz es capaz de producir el mismo trabajo que su valor en corriente directa. Como se podrá observar derivado de las ecuaciones siguientes, el valor eficaz es independiente de la frecuencia o periodo de la señal.

Al ser la intensidad de esta corriente variable una función continua $i(t)$ se puede calcular de acuerdo a la ecuación 2.16:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt} \quad (2.16)$$

I_{ef} = Corriente Eficaz

T = Periodo de la señal

i = corriente variable

La anterior expresión es válida para cualquier forma de onda, sea ésta sinusoidal o no, siendo por tanto aplicable a señales de radiofrecuencia y de audio o vídeo.

En el caso de una corriente alterna sinusoidal (como lo es, con bastante aproximación, la de la red eléctrica) con una amplitud máximo o de pico I_{max} , el valor eficaz I_{ef} está calculado de acuerdo a la ecuación 2.17. [3]

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad (2.17)$$

En el caso de una señal triangular con una amplitud máxima I_{max} , el valor eficaz está calculado de acuerdo a la ecuación 2.18.

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}} \quad (2.18)$$

Para una señal cuadrada $I_{ef} = I_{max}$.

Es común el uso del valor eficaz para voltajes también y su definición es equivalente, calculado de acuerdo a la ecuación 2.19.

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} V^2(t) dt} \quad (2.19)$$

V_{ef} = Voltaje Eficaz

T = Periodo de la señal

v = corriente variable

CAPÍTULO III

3. MODELAMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA COCINA DE INDUCCIÓN.

3.1 Análisis de Armónicos que las Cocinas de Inducción Introducen a la Red

Las cargas no lineales cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación AC, esto produce un flujo de corrientes armónicas que son introducidas al sistema de distribución, lo que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y con otros equipos principalmente electrónicos, esta interferencia también se puede producir en las residencias. [18]

En los sistemas de distribución se utiliza comúnmente la compensación de potencia reactiva con capacitores para mejorar el factor de potencia, y existe la probabilidad de la ocurrencia de resonancia con los armónicos que las cargas no lineales introducen al sistema eléctrico, esto produce una gran distorsión de la forma de onda de tensión y de corriente.

3.1.1 Nivel de Voltaje de la Red de Distribución

Según el informe de resultados de la implementación del plan piloto realizado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, todos los valores de voltaje a nivel de transformadores se encuentran dentro del límite del 5% admisible respecto del nominal (120 V). En casos puntuales se tuvo que la caída de voltaje se encontraba fuera del límite permitido, para los cuales se han dado las siguientes soluciones:

- *Revisión y cambio de taps de voltaje en transformadores de distribución*
- *Cambio de conductores de mayor sección en las redes distribución*
- *Seccionamiento de circuitos secundarios para disminuir distancias de servicio.*

En el siguiente gráfico se muestra como el voltaje mínimo, varía con la implementación del proyecto: [7]

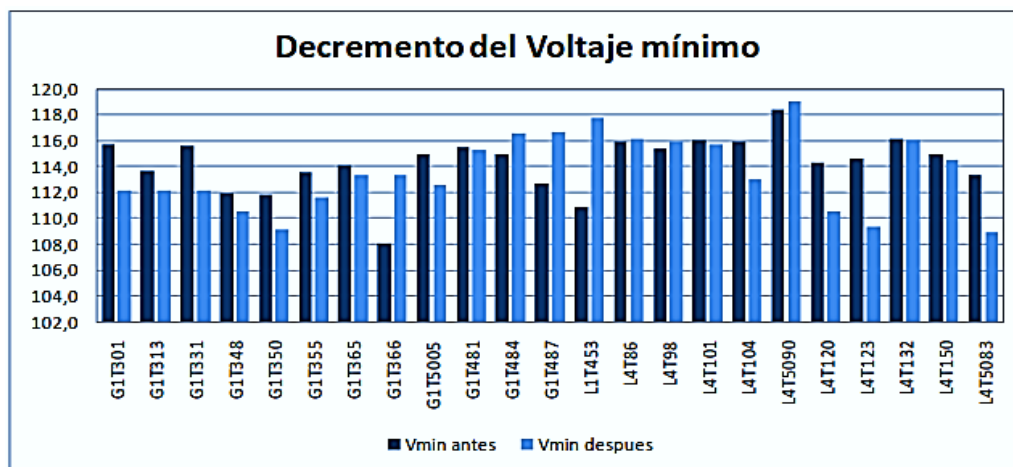


Figura 3. 1 Curvas de carga antes y después de la instalación de las cocinas, de una semana.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Informe de resultados de la implementación del “Plan Fronteras para Sustitución de Cocinas de Inducción en el Carchi”,» MEER, Quito, 2013

3.1.2 THD de Voltaje Producidos en un Transformador

Las mediciones realizadas en un transformador de la zona mostro como resultado que los armónicos que se presentan son los impares y los más representativos son los 3, 5, 7, 9, y 11, sin embargo, de acuerdo a la normativa del CONELEC se verificó que no supera el 10% de distorsión de voltaje y existe el 3% en la distorsión armónica total con respecto a la medición que realizaron antes de iniciar el proyecto. [15]

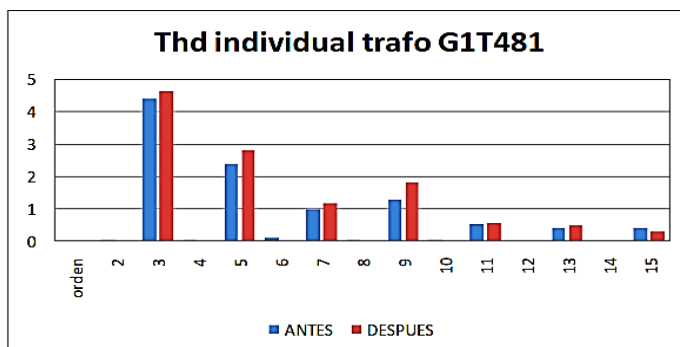


Figura 3. 2 Curva de carga antes y después de la instalación de cocinas, de una semana.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Informe de resultados de la implementación del “Plan Fronteras para Sustitución de Cocinas de Inducción en el Carchi”,» MEER, Quito, 2013

3.2 Análisis de un Sistema de Cocción por Inducción.

El sistema de cocción por inducción consta de varias etapas:

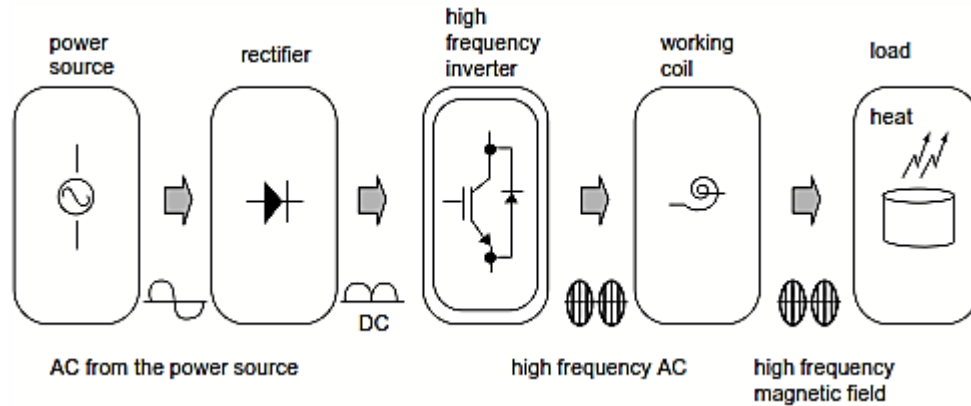


Figura 3. 3 Diagrama de bloques del sistema de calentamiento por inducción

Fuente: E. A. Cushicóndor Collaguazo, Diseño y Construcción de un Prototipo de una Cocina de Inducción Electromagnética., Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009, p. 4.

El funcionamiento que permite la circulación de corriente de alta frecuencia por una inductancia encargada de generar un campo magnético siendo la corriente variable en el tiempo induciendo voltaje sobre un material conductor en el cual se inducirán unas corrientes llamadas corrientes parásitas o de Foucault, que se disiparán como calor por efecto Joule.

La potencia disipada por efecto Joule depende de la frecuencia y del material. Este efecto representa su principio de funcionamiento, ya que son las corrientes parásitas las encargadas de generar en el recipiente o la pieza de trabajo, el calor necesario para su calentamiento.

En los materiales magnéticos como el níquel, hierro y acero se cuenta además con la propiedad de histéresis magnética. Las pérdidas por histéresis dependen de la intensidad del campo magnético en el material y área de la curva de histéresis y son la principal fuente de los sistemas de inducción. Otro de los efectos presentes en el fenómeno de inducción es el efecto pelicular (skin) generado por la frecuencia de la corriente. Este

determina la profundidad hasta la cual circulará la corriente dentro del material. El efecto pelicular debe mantener un equilibrio entre la frecuencia y la potencia disipada, ya que a mayor frecuencia menor profundidad pero mayor disipación de potencia, de donde cobra gran importancia el estudio de las propiedades de los materiales a calentar para determinar la frecuencia de trabajo.

3.2.1 Sistema de Alimentación Eléctrica.

Es la energía provista para el sistema de cocción, dependiendo de la potencia y el tipo de conversor, la fuente puede ser de corriente alterna con voltajes que pueden estar en un rango determinado de 110V, 220V o mayor voltaje para aplicaciones industriales, y con una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz provista de la red de distribución.

3.2.2 Etapa Rectificadora

En esta etapa una señal de corriente alterna (AC) se convertirá en una señal de corriente directa (DC). La onda completa es rectificada por un puente de diodos con filtro capacitivo.

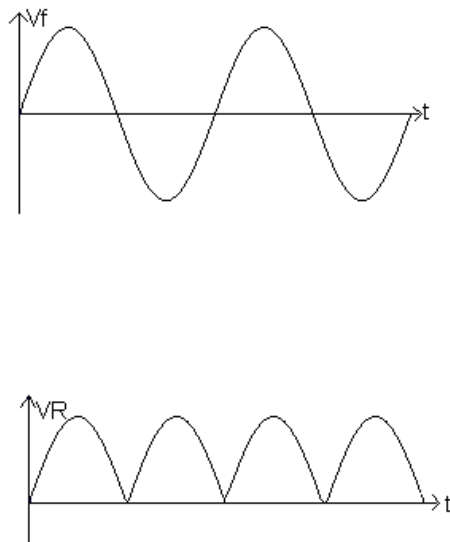


Figura 3. 4 Señal de corriente alterna y señal de corriente directa

Fuente: Propia del Autor

Los rectificadores monofásicos reducen las exigencias del filtrado para suavizar la corriente y el voltaje de salida. La clasificación de los mismos depende del control que se desee sobre la potencia suministrada a la carga, entre los principales se encuentran:

Rectificador no controlado: se caracteriza por no tener un control sobre el voltaje DC de salida y este sería fijo.

Convertidor completo: es un arreglo de SCR's en el cual se puede variar el voltaje de salida de 0 hasta el voltaje máximo que entregue.

Semiconvertidor: utiliza SCR's y está conformado por diodos permitiendo cierto control sobre el voltaje de salida.

3.2.3 Etapa Inversor de Alta Frecuencia

La frecuencia generada en la red eléctrica es convertida en una frecuencia mayor que será la deseada para la alimentación del inductor de calentamiento o bobina de trabajo, así se denomina al inversor de alta frecuencia conformado por un circuito resonante RLC y unos interruptores de potencia que se prenden o apagan de acuerdo a las señales de control generadas por las estrategias de modulación y control.

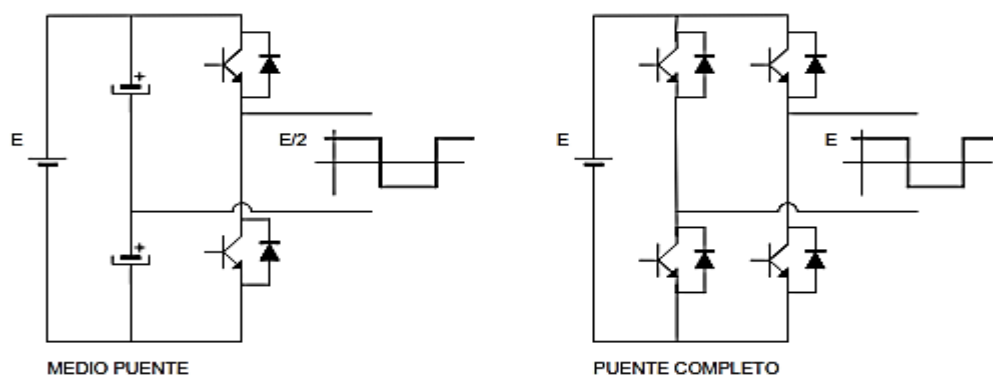


Figura 3. 5 Topologías de inversores de alta frecuencia.

Fuente: E. A. Cushicóndor Collaguazo, *Diseño y Construcción de un Prototipo de una Cocina de Inducción Electromagnética.*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009, p. 4.

En la operación normal, el inversor suministra a la bobina de trabajo, una corriente variable en el tiempo para la generación del campo magnético, encargado de calentar la pieza de trabajo mediante la inducción de corrientes.

El inversor se caracteriza por la calidad de su onda de salida, cuanto menor sea, el contenido de armónico de la onda de salida, más próximo será ésta a una sinusoidal pura. [19]

3.2.3.1 Inversores de Medio Puente

El inversor en medio puente emplea dos condensadores para crear un punto a una tensión flotante igual a la mitad de la tensión de entrada. De esta forma la tensión de salida corresponde directamente a una onda cuadrada de valor máximo igual a la mitad de la tensión de entrada. Los condensadores deben ser escogidos adecuadamente de forma que sean capaces de suministrar la energía necesaria en cada ciclo de conmutación sin una descompensación excesiva en su tensión. Su funcionamiento es muy similar al del inversor asimétrico, las formas de onda son iguales a las mostradas en la figura 3.5, por lo que no se repetirán aquí. [20]

3.2.3.2 Inversores de Puente Completo

Esta topología emplea cuatro interruptores para generar una tensión cuadrada de valor máximo igual al de la tensión de entrada, el doble que en las otras dos topologías anteriores, por lo que la potencia disponible en la salida se multiplica por cuatro. En este inversor los interruptores sólo soportan una tensión igual a la de entrada. Las formas de onda más relevantes se ilustran en la figura 3.5. [20]

Otra ventaja del inversor en puente completo es que permite la modulación de la señal de salida, permitiendo así el control del valor eficaz de la tensión aplicada al circuito resonante. Por otro lado, uno de los inconvenientes de este inversor es que en cada instante se encuentran siempre dos semiconductores en estado de conducción. Por ello el rendimiento para potencias de salida reducidas será inferior que en el caso de los otros inversores en los que sólo un semiconductor conduce en cada intervalo.

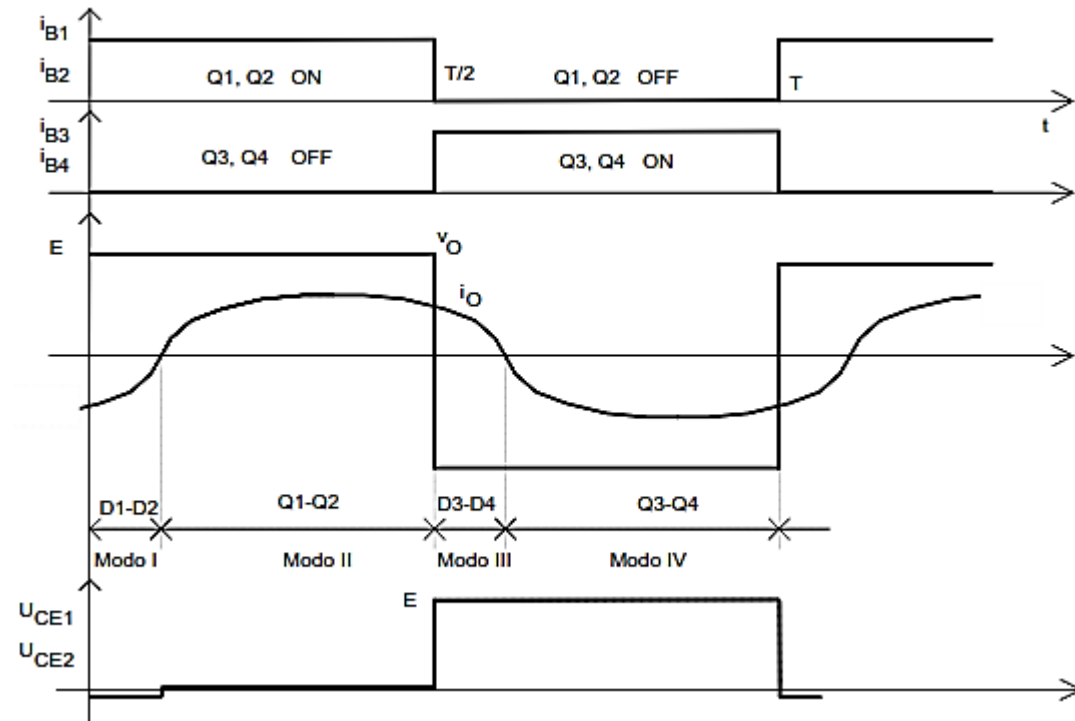


Figura 3. 6 Formas de onda características en el inversor puente completo.

Fuente: J. M. Alonso Álvarez, *Inversores Resonantes de Alta Frecuencia*, Gijón: Universidad de Oviedo, 1999.

3.2.3.3 Inversor Cuasi-Resonante.

Los nuevos desarrollos en las topologías de calentamiento por inducción debido a la alta frecuencia requerida apuntan a los avances de la tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) hacen posible la construcción de convertidores más compactos, robustos y económicos.

En este inversor híbrido los interruptores de potencia son remplazados por interruptores resonantes. El interruptor resonante es un circuito compuesto por un interruptor de potencia y dos elementos de resonancia L_r y C_r y se clasifican en: interruptores resonantes de corriente cero e interruptores resonantes de voltaje cero. En los interruptores resonantes de corriente cero la inductancia L_r se conecta en serie con el interruptor de potencia para obtener la conmutación por ZCS (Zero Current Switching) y puede operar en modo de media onda o de onda completa. Los interruptores resonantes de voltaje cero

se presentan cuando el condensador C_r se conecta en paralelo con el interruptor para obtener la conmutación por voltaje cero (ZVS, Zero Voltage Switching), puede operar en modo de media onda o de onda completa. La Figura 3.7 presenta un circuito típico de inversor cuasi-resonante (IQR). [21]

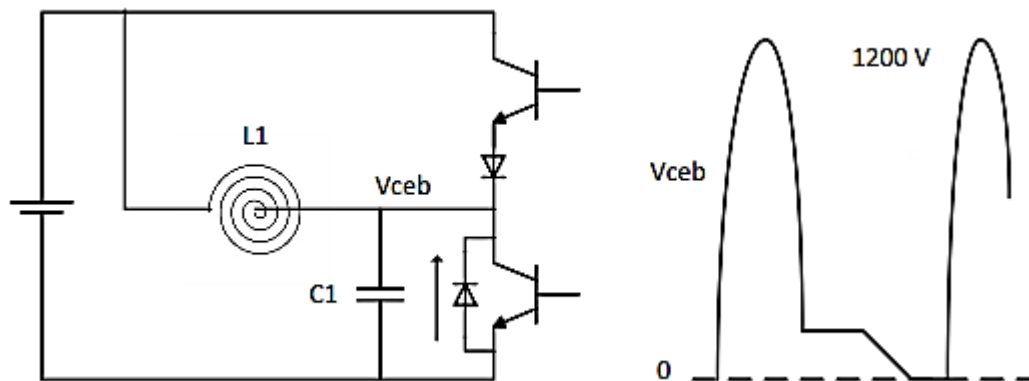


Figura 3. 7 Circuito básico de un inversor cuasi-resonante.

Fuente: J. N. Hincapié, A. Trejos, M. E. Moncada y A. Escobar, «Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción domestica: revisión de estado del arte.,» Revista Ingenieria y Ciencia, vol. 9, n° 18, pp. 237-262, 2013.

Las cocinas a inducción pueden agrupar principalmente tres aspectos: Electrónica de potencia que suministra la alimentación a la bobina de inducción, el control digital que genera las señales de disparo y mide la corriente y voltaje de entrada y las corrientes y voltajes de la carga, y el sistema inductor, carga que transfiere la energía eléctrica suministrada por el convertidor al recipiente a través de un acoplamiento magnético.

3.3 Modelamiento en Matlab %THD de la Cocina a Inducción.

Después de haber realizado un análisis y síntesis en cuanto al funcionamiento y componentes principales de la cocina de inducción, procederemos a realizar un modelamiento para exponer la Tasa de Distorsión Armónica (THD) que se produce con el uso de la cocina a inducción mediante un software llamado Matlab.

Matlab es un programa matemático con posibilidades gráficas para la presentación de datos y que se utiliza en varios campos de la ciencia e investigación como herramienta principal.

3.3.1 Circuito representativo de la cocina de Inducción.

Para el análisis en cuanto al circuito que se representara en el modelamiento, se tomó en cuenta la información anteriormente estudiada, tomando los parámetros de cálculo teóricos que nos permitirá hacer uso de la biblioteca de Simulink quien nos proporcionara el entorno gráfico en cuanto al análisis, diseño, y simulación del sistema.

En la figura 3.8 se muestra el circuito utilizado para la simulación el cual esta alimentado por corriente alterna con voltaje de 220V y una frecuencia de 60Hz, pasa a través de la etapa rectificadora para ser transmitida al condensador.

Posteriormente pasa por el puente inversor llegando a la carga resonante representada por un circuito inductor resistivo.

Los IGBT están recibiendo un tren de pulsos que les permite realizar su función de acuerdo a la necesidad que requiere la carga resonante, nótese que la medición resultante del circuito analiza la tasa de distorsión armónica generada durante la simulación a un tiempo de 0.01 segundos.

Este tiempo de análisis es corto, la razón por la cual se tomó este periodo es por el procesamiento de datos que genera y realiza el procesador al momento de la simulación, considerando que este se extiende a medida que la simulación se aproxime a trabajar en tiempo real.

Finalmente y considerando la onda distorsionada generada se procedió a colocar un filtro para obligar a que todas sus derivadas sean cero en $v = 0$, lo que garantiza no sólo la respuesta más plana en $v = 0$ sino también la menor desviación con respecto a la ganancia unitaria en la banda de paso.

3.3.2 Circuito Resonante Equivalente

Un circuito equivalente a un circuito resonante se describe en la Figura 3.9. La carga en el circuito (a) es equivalente al circuito en (b) cuando el transformador tiene resistencia conectada al circuito secundario. Esto se puede simplificar como en el circuito (c), donde R^* , L^* , y Cr se conectan directamente. R^* en (c) indica la resistencia del circuito primario del transformador convertidas desde la secundaria L^* , significa que el inductor en el lado primario del transformador (L_r), que es un inductor resonante la combinación de la fuga de inductor y el inductor secundario. [22]

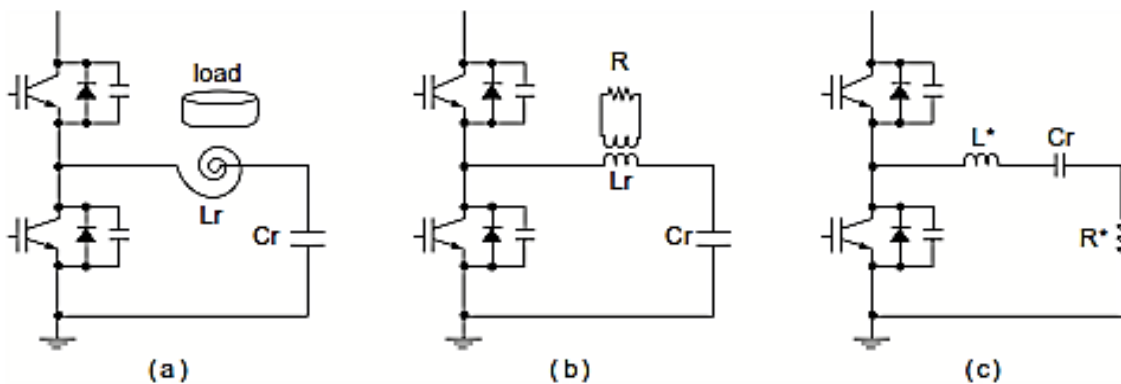


Figura 3. 9 Circuitos Resonantes Equivalentes.

Fuente: Fairchild Semiconductor Corporation, «fairchildsemi,» 18 12 2013. [En línea]. Available: www.fairchildsemi.com.

El voltaje que pasa al condensador de nivelación se convierte en una onda cuadrada en el proceso de conmutación de alta frecuencia en el inversor. Los armónicos de alta frecuencia de la onda cuadrada son eliminados por el filtro L_r , Cr . La onda cuadrada permite resonancia en el circuito resonante, que a su vez, crea un campo magnético alrededor de la bobina resonante que afecta a la carga. Las corrientes de Foucault se forman alrededor de la superficie del objeto la generación de energía térmica. [23]

3.3.3 Determinación de la Capacitancia e Inductancia del Circuito Resonante.

Como se genera energía térmica en el proceso de intercambio de energía entre el inductor y el condensador en el circuito resonante, el nivel de inductancia y capacitancia es un factor importante.[24]

La siguiente es una descripción de algunos de los factores que determinan los valores de capacitancia e inductancia.

3.3.3.1 Consumo de Energía

Considerando el tamaño común de una olla de arroz de 1,8 litros (para 10 personas), la alimentación general está diseñada para esta capacidad, con un máximo de 1.250 W. Un inversor resonante seria de medio puente es apropiado para una fuente de 220 V. Así, con rango \pm de 15%, la tensión está diseñada para ser fijado en 187 V a 253 V en 60 Hz.[25]

3.3.3.2 Frecuencia de Resonancia

En la frecuencia de resonancia, la reactancia inductiva y la reactancia capacitiva se convierten en el mismo, es decir, el voltaje de la fuente de alimentación y la corriente en el circuito de estancia en el mismo nivel. La frecuencia de resonancia se puede resumir como se muestra en la ecuación (3.1). La corriente en el circuito alcanza su pico cuando la frecuencia de la fuente pasa a ser igual a la frecuencia de resonancia. Se decrementa cuando la frecuencia de la fuente se hace mayor o menor que la frecuencia de resonancia:[26]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

F_0 = frecuencia resonante

L =Inductancia

C =Capacitancia

Tomando en cuenta la potencia de trabajo de la cocina, así como la alimentación para este caso 220 V a 60 Hz, para aplicar el análisis se tomara una frecuencia de 24 KHz.

3.3.3.3 Determinación de la Capacitancia

Primero se calcula la corriente de resonancia y se utiliza la ecuación (3.2):

$$I = \frac{2\pi P}{V} \rightarrow \frac{2\pi (1250 \text{ W})}{187 \sqrt{2}} = 29.7 \text{ [A]} \quad (3.2)$$

I= Corriente de Resonancia

P= Potencia

V= Voltaje

Luego, se calcula la capacitancia resonante determinada por la ecuación (3.3)

$$C = \frac{I}{2\pi fV} = \frac{29.7}{2\pi * 24000 * 187 \sqrt{2}} = 0.74 \text{ } [\mu F] \quad (3.3)$$

I= Corriente de Resonancia

f= Frecuencia Resonante

V= Voltaje

3.3.3.4 Determinación de la Inductancia

Se calcula la inductancia resonante determinada por la ecuación (3.4)

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{(2\pi * 24000)^2 * 0.8 \times 10^{-6}} = 55 \text{ } [\mu H] \quad (3.4)$$

I= Corriente de Resonancia

f= Frecuencia Resonante

V= Voltaje

3.3.4 Circuito de Control

El circuito de control es el encargado de generar los pulsos de disparo del IGBT, tomando en cuenta la frecuencia a la cual debe trabajar el conmutador con el objetivo que éste entre en resonancia, teniendo una retroalimentación de los mismos de tal forma que cumpla con la potencia especificada.[26]

El control puede ser realizado por un microcontrolador que gobernará estos parámetros y ajustará los mismos para que el circuito entre en resonancia.

3.4 Análisis de Modelación %THD de Cocina a Inducción

Considerando todos los parámetros antes mencionados en cuanto a la elaboración del circuito representativo para la simulación en Matlab consideramos la toma gráfica de datos en ciertos parámetros para efectuar el análisis de la tasa total de distorsión Armónica.

También se realizó la toma de mediciones físicas con la finalidad de tener una referencia con respecto al análisis en Matlab.

3.4.1 Mediciones Reales de Laboratorio

Para la toma de mediciones en el laboratorio se utilizó la disponibilidad de equipos propios del laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana que se describirán a continuación.

Cocina a Inducción



Figura 3. 10 Cocina a Inducción y sus características de fábrica marca Indurama

Fuente: Propia de Autor

Analizador de Energía Fluke 435

Captura de datos PowerWave.- capturar valores RMS rápidas para ver cada forma de onda para que pueda determinar cómo el voltaje, la corriente y los valores de frecuencia están interactuando.

- *Eficiencia Inversor de la energía.- eficiencia Inversor de la energía.*
- *Monetización Energía.- calcular el costo fiscal de desperdicio de energía debido a la mala calidad de la energía.*
- *Evaluación de la Energía.- cuantificar el antes y el después de las mejoras de instalación en el consumo de energía para justificar dispositivos de ahorro de energía.[27]*
- *Solución de problemas Frontline.- diagnosticar rápidamente los problemas que aparecen en pantalla para obtener su funcionamiento de nuevo en línea.*
- *El mantenimiento predictivo.- detectar y evitar problemas de calidad de energía antes de que causen tiempo de inactividad*
- *Análisis a largo plazo.- descubrir difíciles de encontrar o problemas intermitentes*
- *Estudios de carga.- comprobar la capacidad del sistema eléctrico antes de añadir cargas.[28]*



Figura 3. 11 Fluke 435 Series II Energy Analyzer with Advanced Power Quality Functions

Fuente: Propia de Autor

3.4.1.1 Procedimiento para la toma de datos.

La serie 430 de Fluke proporciona tres formas de analizar las medidas. Los cursores y el zoom se pueden utilizar en directo, mientras se realizan las medidas, o sin conexión, en datos de medida almacenados. Estos datos también pueden transferirse a un PC con FlukeView, un software con un modo de visualización que permite utilizar los cursores y el zoom en las medidas almacenadas como si se estuviera trabajando realmente con el instrumento. Además, para realizar análisis personalizados y crear informes, los datos de medida pueden exportarse a los programas habituales de hoja de cálculo. El instrumento puede almacenar hasta 10 medidas, y cada una de estas medidas puede contener hasta 32 parámetros registrados durante más de un año y 50 pantallas.[29]

Para nuestro propósito configuramos la herramienta en el modo indicado seleccionando los parámetros de medida necesarios como son los siguientes:

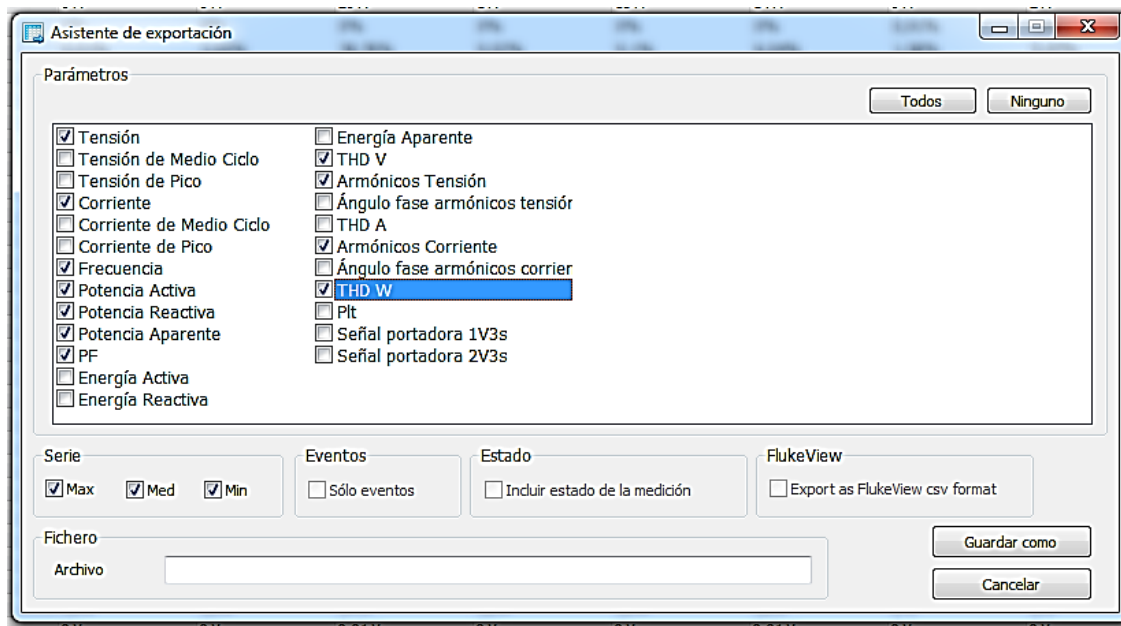


Figura 3. 12 Parámetros elegidos para la toma de mediciones.

Fuente: Propia de Autor

Los parámetros son configurados para ser medidos con un intervalo de 5 min, por lo cual obtendremos una gran cantidad de datos que hace posible la generación de diferentes

gráficos para visualizarlo de mejor forma con la finalidad de sintetizar el análisis y llevar acabo conclusiones más precisas para determinar soluciones posibles.

3.4.1.2 Resultado de Mediciones Tomadas con Fluke

Los resultados medidos por el Fluke se descargan al computador portátil mediante el software Power Log del mismo fabricante[30], el mismo nos permitirá observar todos los datos que anteriormente configuramos, a continuación se verificará una síntesis de los resultados obtenidos mediante las gráficas elaboradas por el software y los datos completos se los podrá visualizar en el Anexo1.

a) Gráfica Estadística de Tensión Media

La presente gráfica muestra la variación de tensión que existió en la red realizando un muestreo estadístico. La información estadística que complementa a la imagen se añade al gráfico de los datos registrados. Como se muestra en la figura 3.13.

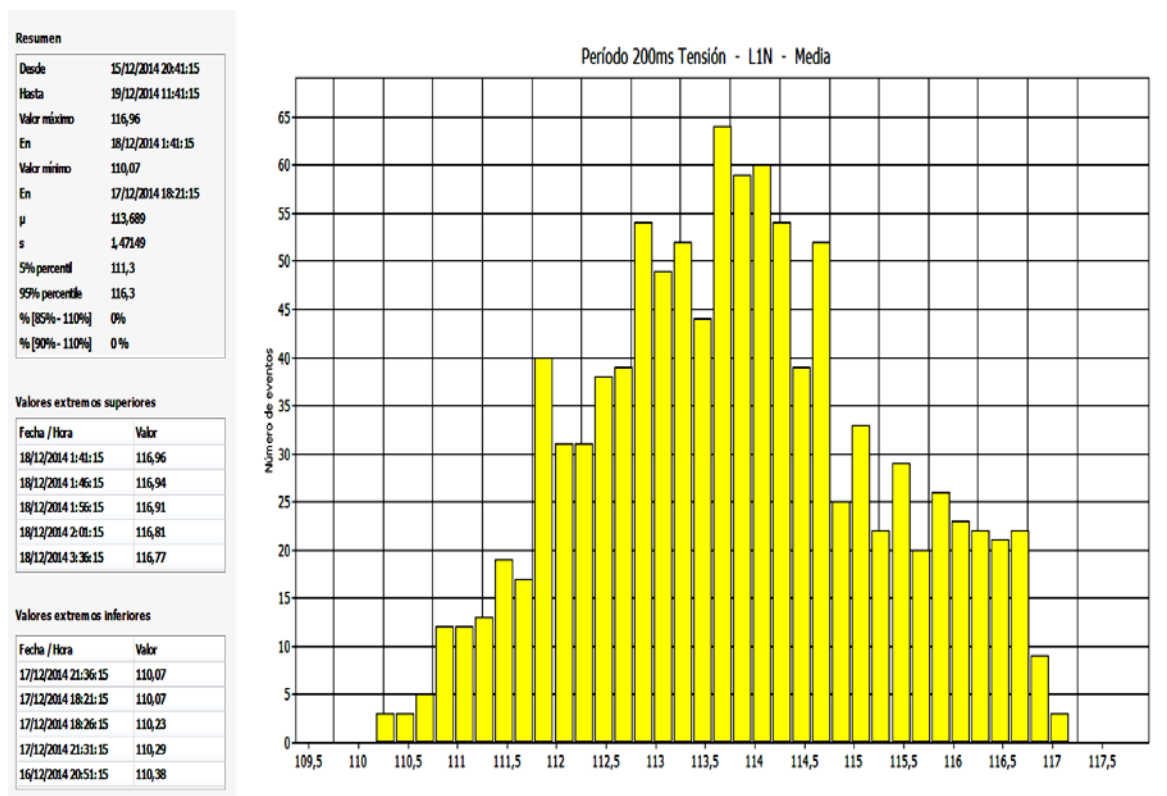


Figura 3. 13 Gráfico estadístico de variación de tensión

Fuente: Software Power Log

b) Gráfica Estadística de Corriente Media

La presente gráfica muestra la variación de corriente que existió en la red realizando un muestreo estadístico. La información estadística que complementa a la imagen se añade al gráfico de los datos registrados. Como se muestra en la figura 3.14.

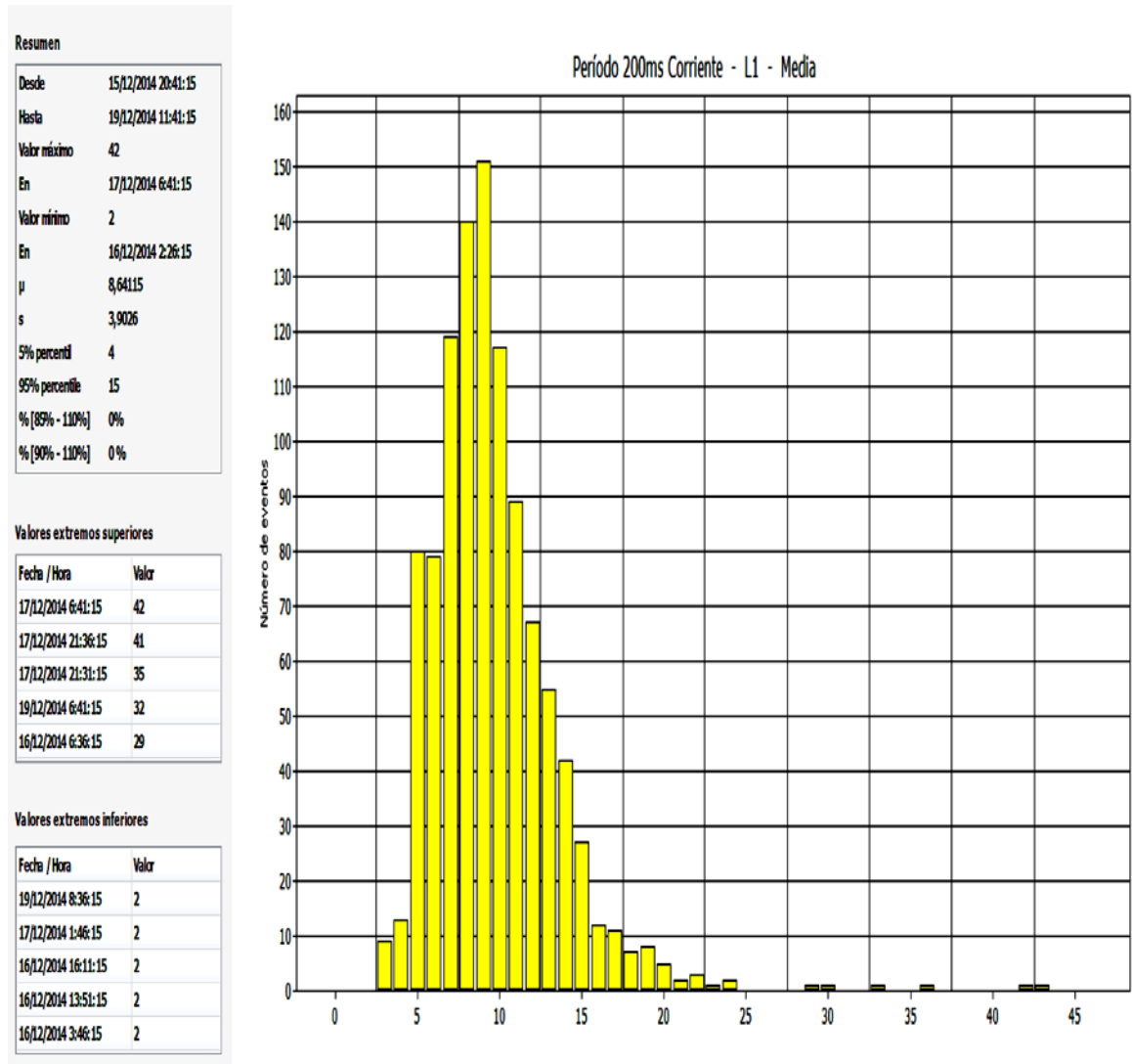


Figura 3. 14 Gráfico estadístico de variación de corriente

Fuente: Software Power Log

c) Gráfica Estadística de Frecuencia

La presente gráfica muestra la variación de frecuencia que existió en la red realizando un muestreo estadístico. La información estadística que complementa a la imagen se añade al gráfico de los datos registrados. Como se muestra en la figura 3.15.

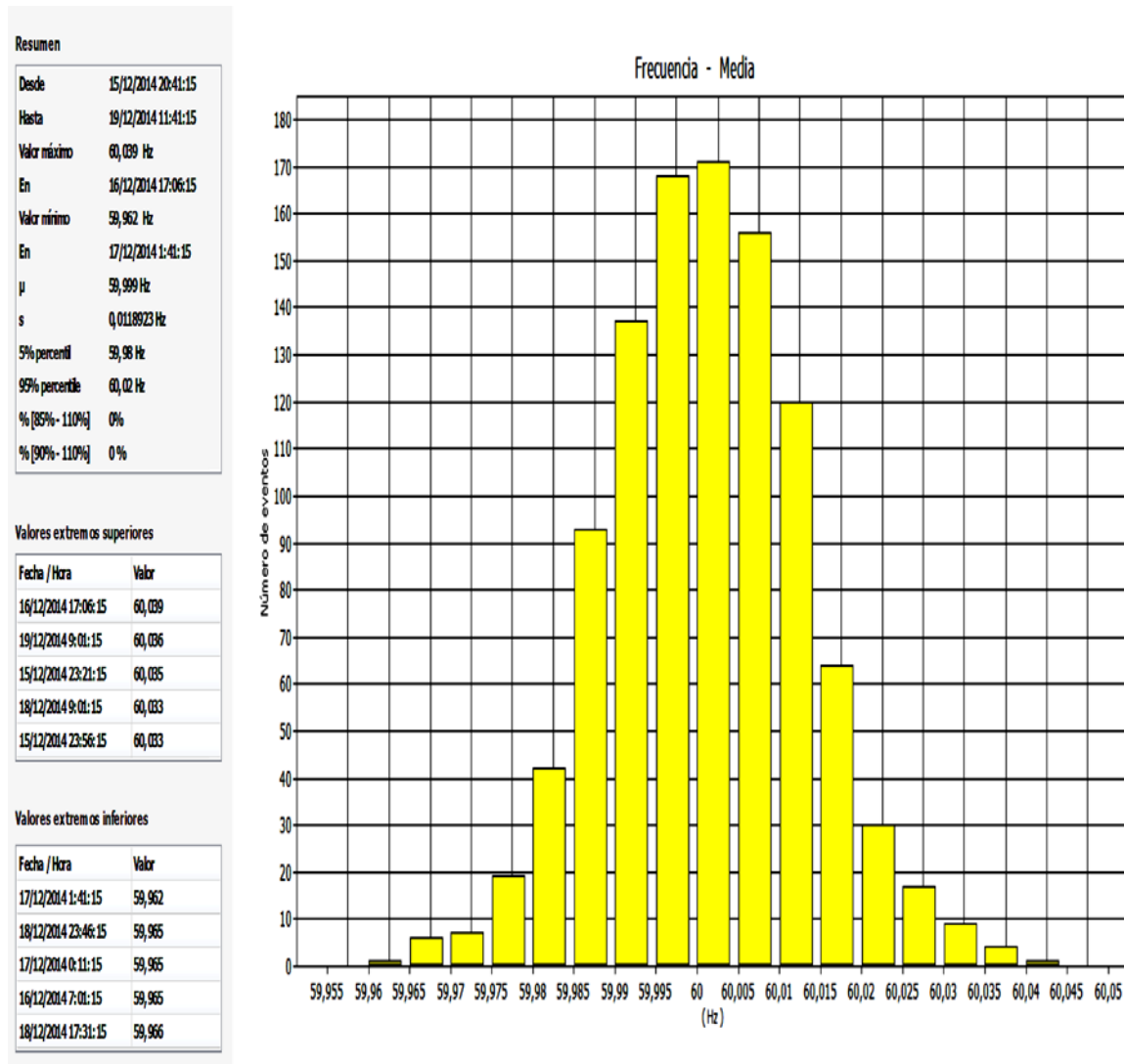


Figura 3. 15 Gráfico estadístico de variación de frecuencia

Fuente: Software Power Log

d) Factor de Potencia Total Media

La presente gráfica muestra el factor de potencia que existió en la red realizando un muestreo estadístico. La información estadística que complementa a la imagen se añade al gráfico de los datos registrados. Como se muestra en la figura 3.16.

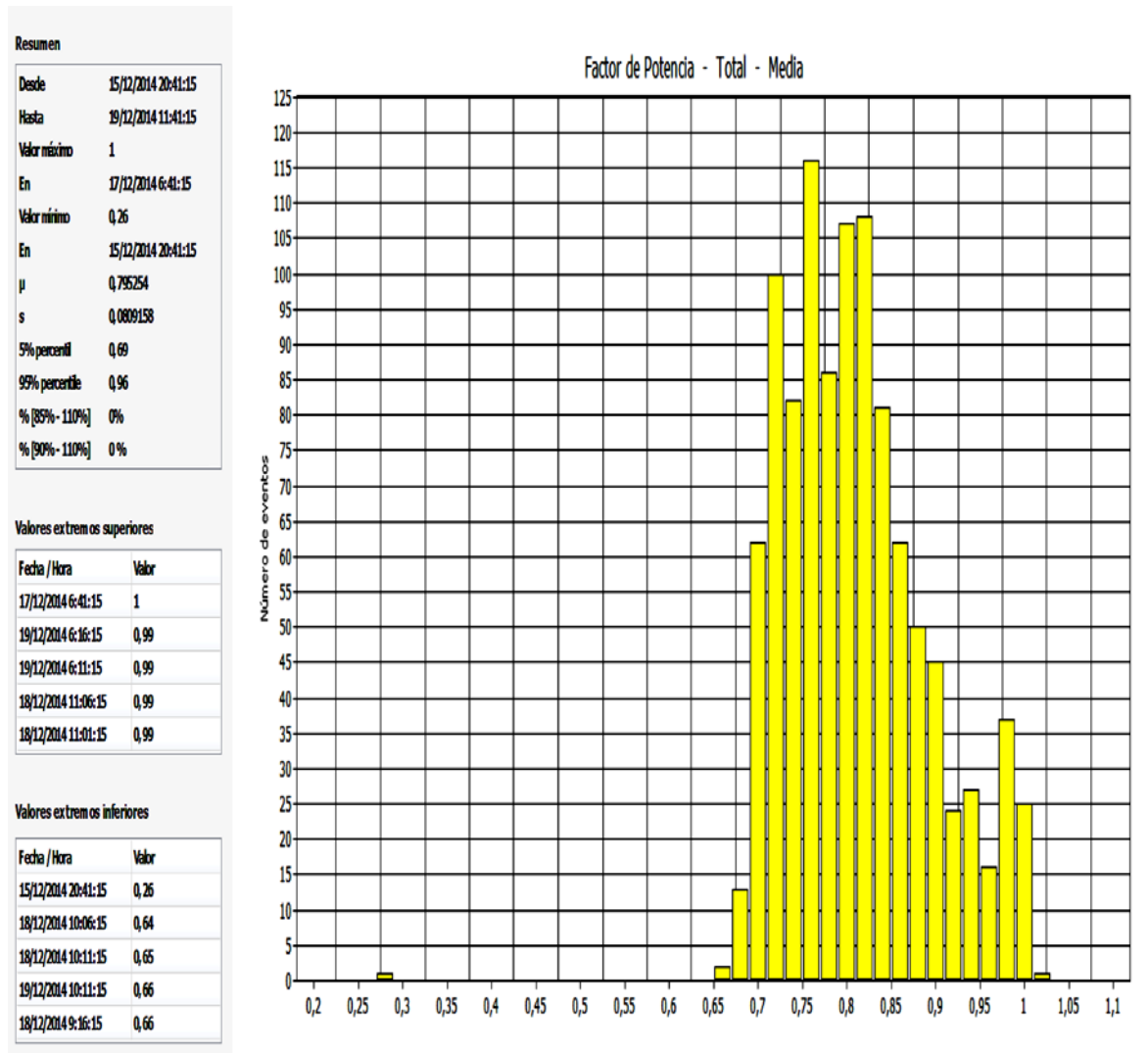


Figura 3. 16 Gráfico estadístico del Factor de Potencia Total Media

Fuente: Software Power Log

e) THD producido en la Cocina a Inducción

La distorsión armónica total que fue medido como se muestra estadísticamente mediante el gráfico de la figura 3.17 a continuación.

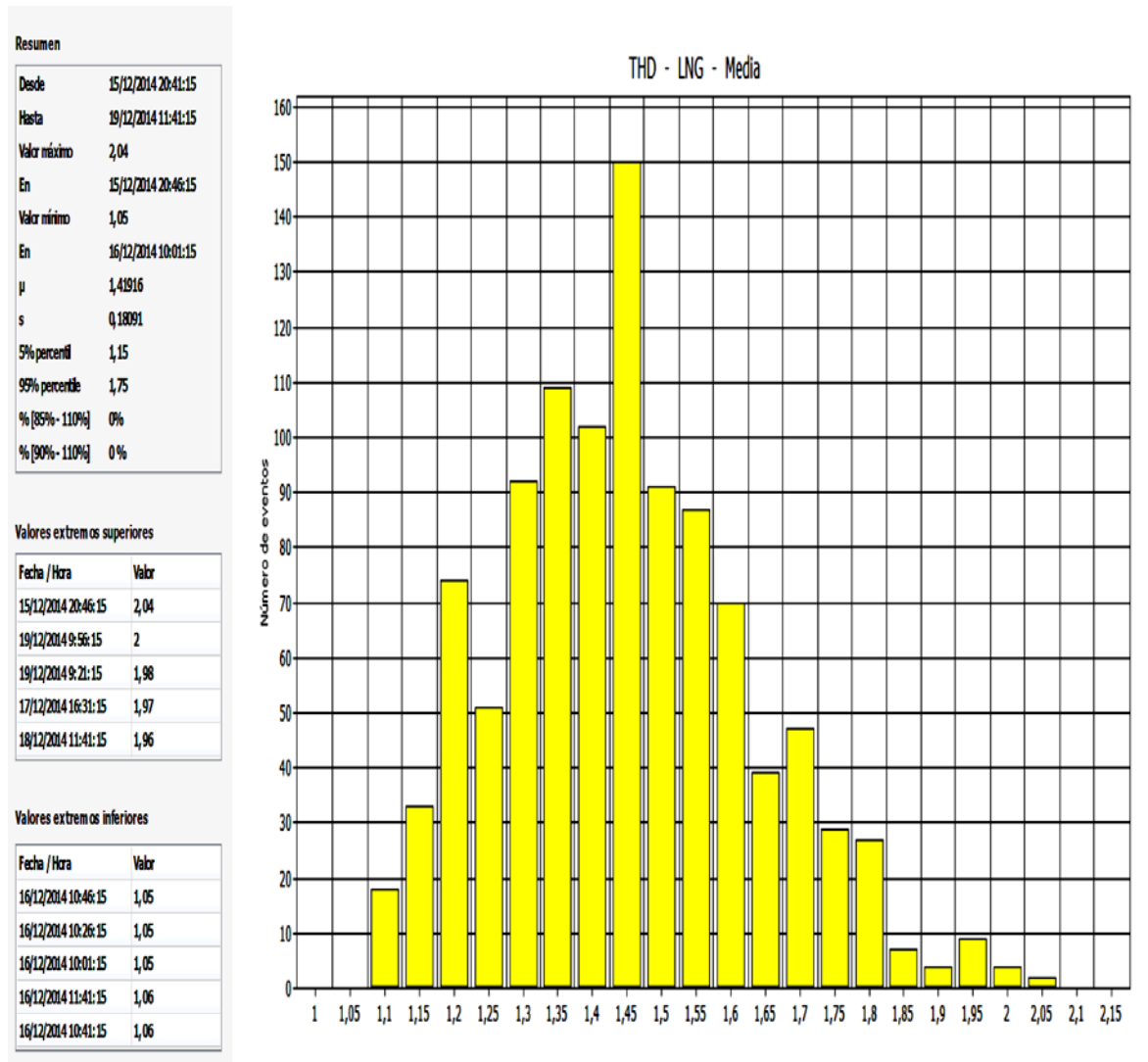


Figura 3. 17 Gráfico estadístico de THD LNG Media

Fuente: Software Power Log

f) Armónicos en la Red de Distribución

La presente gráfica muestra los armónicos que se generó en la red mediante un histograma. Como se muestra en la figura 3.18.

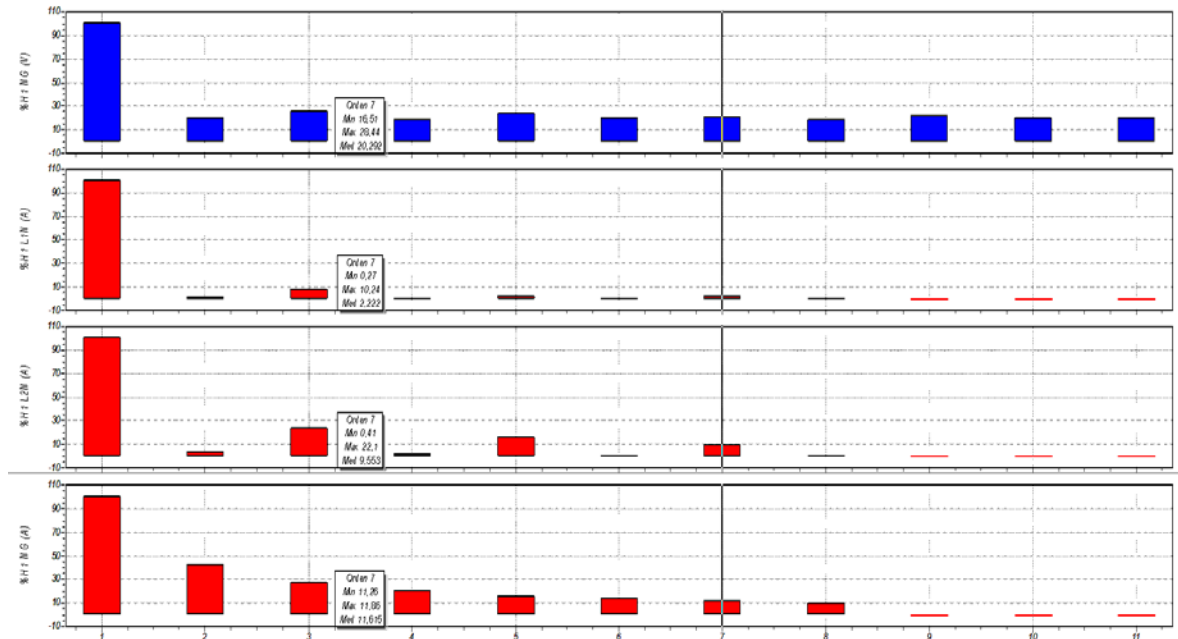


Figura 3. 18 Histograma de Armónicos

Fuente: Software Power Log

3.4.3 Resultados de Modelación en Simulink

Evaluando el esquema de la figura 3.8, mediante la plataforma Simulink de Matlab se obtuvo datos importantes que se asemejan a los medidos con el Fluke, sin embargo se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros.

Los datos que se obtienen mediante el circuito elaborado en Simulink son de referencia ya que están en base a un circuito representativo de la cocina de inducción.

El tiempo de simulación es limitado a las características del computador (memoria RAM), ya que el circuito posee elementos como el IGBT (Transistor de alta frecuencia) que su desempeño real lo realiza a gran velocidad, por lo tanto esto complica la simulación al querer llevarlo a su punto más real.

El enfoque en este apartado será el tema principal de este trabajo por lo cual se dejara varios de los datos anteriores como referencia de las mediciones realizadas con el Fluke.

La cantidad de datos generados en la simulación son enormes en comparación a las medidas con el Fluke sin embargo se debe aclarar que aunque este conjunto de datos sea mayor representa un segmento del análisis completo que debería realizarse, debido al tiempo de simulación.

a) Gráfica de THD Corriente en Simulink

La presente gráfica muestra la tasa de distorsión armónica de corriente que existió en la simulación de la topología de la figura 3.8, como se muestra en la figura 3.19.

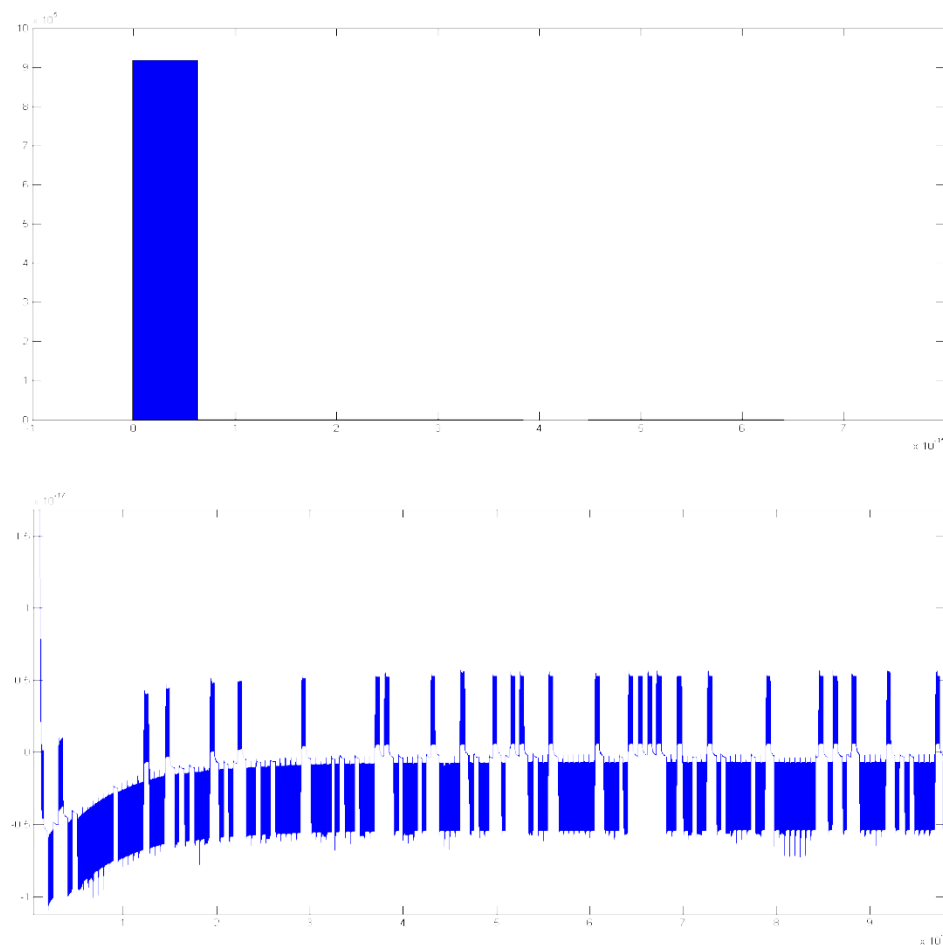


Figura 3. 19 Simulación de THD de Corriente

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Aplicando el comando *Ident* de Simulink se logró estimar la función de transferencia de la onda resultante que se muestra en la ecuación 3.5.

$$G(s) = \frac{Kp}{1+Tp1*s} \quad (3.5)$$

$$Kp = -4.5954e-24 \pm 1.0718e-25$$

$$Tp1 = 0.0096749 \pm 3.3138e-65$$

Como se muestra en la simulación el espectro armónico resultante del sistema de referencia evidencia la presencia de una tasa de distorsión armónica baja, ahora, vamos a analizar en Matlab importando los datos emitidos por el Fluke como se muestra en la figura 3.20.

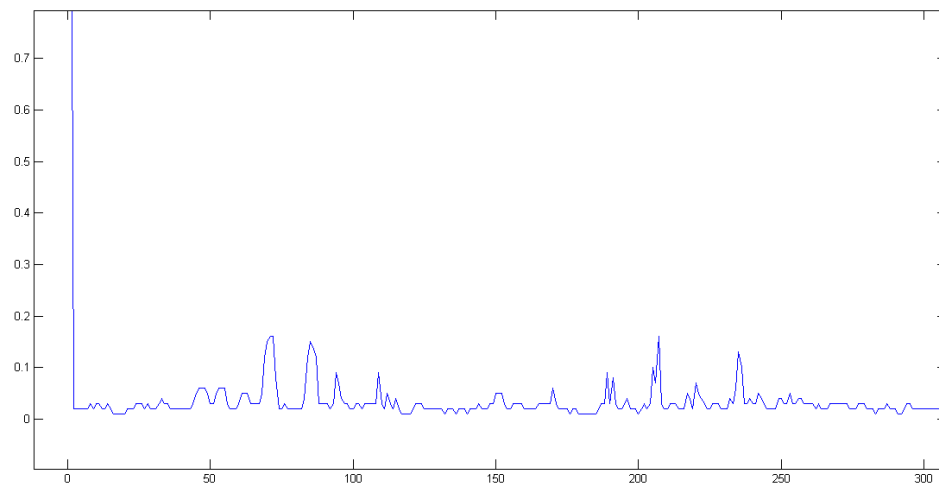


Figura 3. 20 Simulación de THD de Corriente con Datos de Fluke

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Podemos verificar que la gráfica anterior nos muestra de cierta forma una relación con respecto a la gráfica simulada, y el rango es de 0 a 0.2 %, con respecto a la primera que esta de 0 a 0.5 %, presentando un margen aproximado con la simulación realizada.

b) Gráfica de THD Voltaje en Simulink

La presente gráfica muestra la tasa de distorsión armónica de voltaje que existió en la simulación de la topología de la figura 3.8, como se muestra en la figura 3.21.

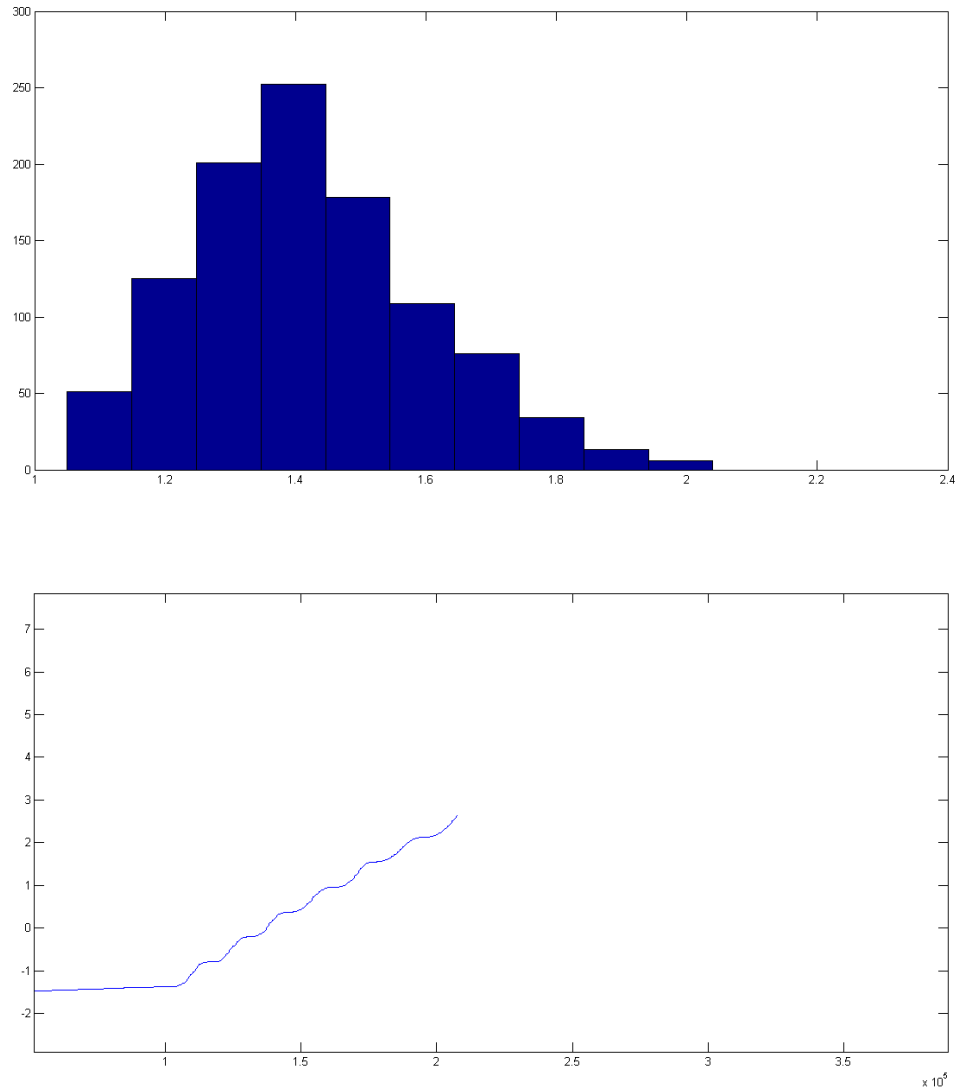


Figura 3. 21 Simulación de THD de Voltaje

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Aplicando el comando *Ident* de Simulink se logró estimar la función de transferencia de la onda resultante que se muestra en la ecuación 3.6.

$$G(s) = \frac{Kp}{1+Tp1*s} \quad (3.6)$$

$$Kp = 3.4341e-05 \pm 8.1633e-09$$

$$Tp1 = 1.672e+05 \pm 132.28$$

Como se muestra en la simulación el espectro armónico resultante del sistema de referencia evidencia la presencia de una tasa de distorsión armónica baja, ahora, vamos a analizar en Matlab importando los datos emitidos por el Fluke como se muestra en la figura 3.21.

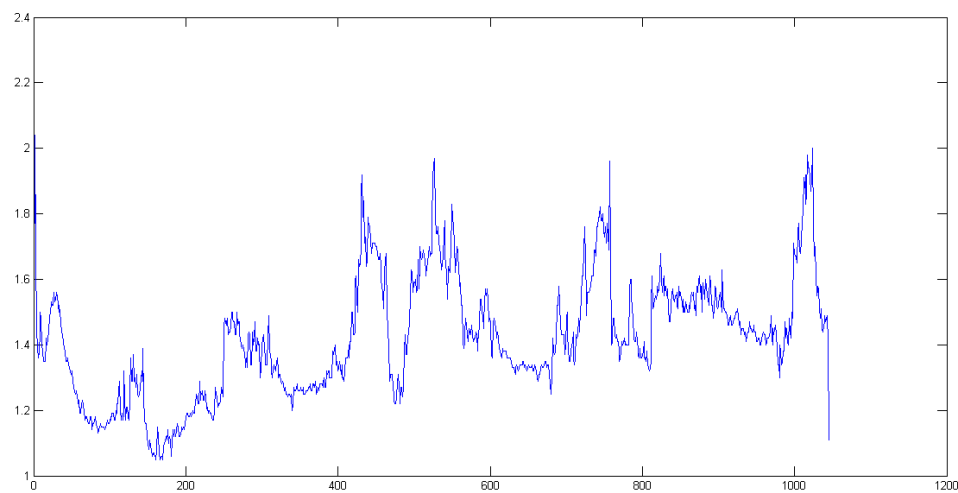


Figura 3. 22 Simulación de THD de Voltaje con Datos de Fluke

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Podemos verificar que la gráfica anterior nos muestra de cierta forma una relación con respecto a la gráfica simulada, y el rango es de 0 a 2 %, con respecto a la primera que esta de -1.5 a 2.5 %, presentando un margen aproximado con la simulación realizada.

3.4.4 Análisis de Resultados Medidos y Simulados.

Las topologías presentadas, mejoran ostensiblemente la calidad de la energía suministrada por los inversores de potencia, esto se ve reflejado en los porcentajes de distorsión armónica casi nulos que se presentan en los voltajes y corrientes de salida.

Los inversores tienen un buen desempeño con respecto a los valores eficaces que se desean en las salidas, aunque la configuración de medio puente presenta ligeramente menor rendimiento.

Por los resultados de las simulaciones se puede establecer que la topología tiene muy bajos niveles de THD y se establece que no causaría efecto en la red de distribución si se toma las normas adecuadas para el control e implantación del proyecto a nivel nacional.

En la gráfica 3.23, podemos corroborar las simulaciones y gráficas anteriores por medio del módulo PowerGui que nos permite mediante la herramienta de análisis FFT realizar el análisis de Fourier de señales almacenadas en una estructura con formato de hora. Para obtener más información.

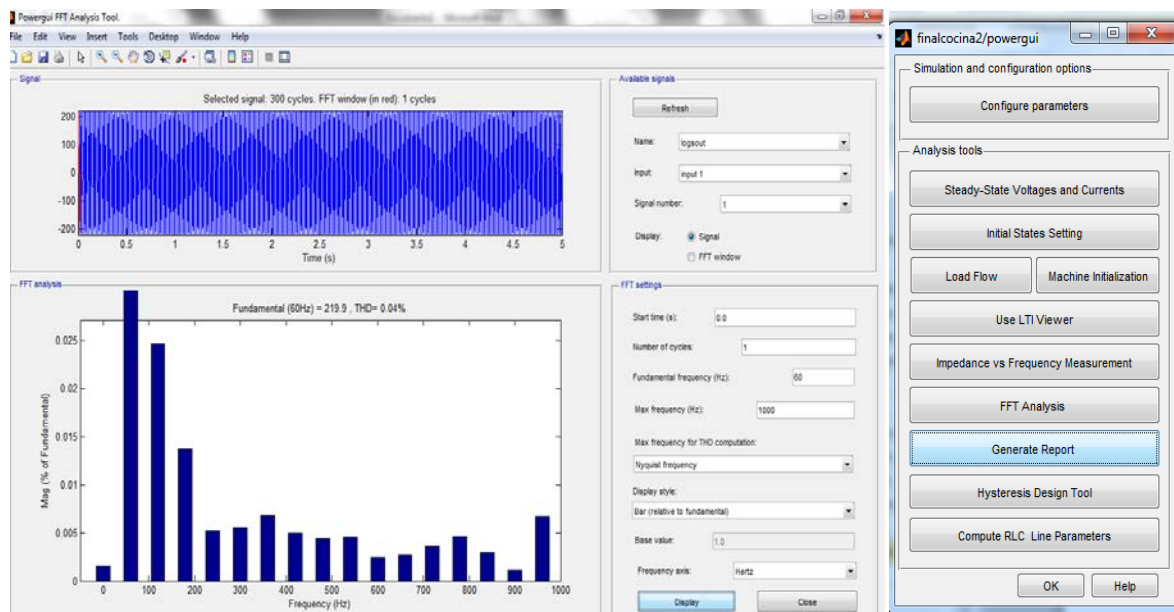


Figura 3. 23 Herramienta de Análisis Powergui

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Una ventaja adicional que se obtiene es la reducción significativa de las pérdidas de conmutación, por inferior frecuencia de operación de los dispositivos semiconductores de potencia, en comparación con la frecuencia de operación en las topologías clásicas. En la misma proporción disminuyen los esfuerzos a los que son sometidos los semiconductores de potencia.[31]

3.4.5 Filtros Armónicos

En un contexto general, nos podemos referir a los filtros armónicos como filtros pasivos y activos. Su diferencia esencial, radica sobre si ellos proveen una acción de filtración dentro de un ancho de banda seleccionado (pasivo) o como resultado de un proceso de monitoreo en tiempo real que guía la inyección de la cancelación de corrientes armónicas en tiempo real (activo).

Uno de los métodos más comunes para el control de la distorsión armónica en la industria es el uso de técnicas de filtración pasiva que hacen uso de filtros sintonizados o pasa altas.

Los filtros armónicos pasivos pueden ser diseñados como elementos sintonizados que proveen un camino de baja impedancia a las corrientes armónicas a una frecuencia puntual o como componentes pasa altas o pasa banda que pueden filtrar armónicas sobre un cierto rango de frecuencia.

Los más sofisticados conceptos de filtración activa operan en un rango amplio de frecuencias, ajustando su operación al espectro armónico resultante. Los filtros activos son diseñados para inyectar corrientes armónicas de igual magnitud pero desfasados 180° para contrarrestar las componentes armónicas existentes. Los filtros activos comprenden configuraciones serie y paralelo de C.D. y C.A. Los filtros híbridos son una combinación de esquemas de filtración pasiva y activa. A continuación veremos los filtros que se consideraran en esta tesis.

3.4.6 Filtro de Butterworth

El prototipo pasa-bajas de Butterworth se basa en la selección $H(v) = v^n$ de modo que:

$$|H(v)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 v^{2n}} \quad A_{db}(v) = 10 \log(1 + \varepsilon^2 v^{2n}) \text{ (db)} \quad (3.5)$$

H= respuesta en frecuencia

ε = Parametro de rizo

A= Atenuación

El filtro Butterworth también se conoce como filtro máximamente plano porque la elección de $H(v) = v^n$ (sin la presencia de alguno de los demás coeficientes de menor grado) obliga a que todas sus derivadas sean cero en $v = 0$, lo que garantiza no sólo la respuesta más plana en $v = 0$ sino también la menor desviación con respecto a la ganancia unitaria en la banda de paso. Todos los grados de libertad (que son los coeficientes libres en el polinomio de n-ésimo grado $H(v)$ se invierten en hacer que la respuesta en magnitud del filtro de Butterworth sea lo más plana posible en el origen (lo que se obtiene al hacerlos cero). Con esto se tiene una respuesta en frecuencia monótona libre de sobretiros, pero a costa de una transición lenta de la banda de paso a la de supresión.

La cantidad ε^2 es una medida de la desviación con respecto a la magnitud unitaria en la banda de paso. La magnitud es monótona y disminuye con la frecuencia. La ganancia del filtro en el límite de la banda de paso $v = 1$ es igual a

$$|H(1)| = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}} \quad (3.6)$$

La figura 3.24 muestra un espectro de magnitud representativo de esta clase de filtro.

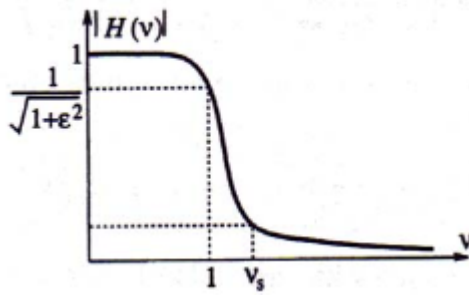


Figura 3. 24 Diagrama eléctrico de filtros pasivos

Fuente: Fernández de Ávila, Susana, and Hidalgo García, Rafael. Fundamentos teóricos para analizar circuitos. España: ECU, 2013. ProQuest ebrary. Web. 21 February 2015.

Para un filtro Butterworth de n -ésimo orden, la rapidez de atenuación a frecuencias altas es $20n$ dB/dec, y la atenuación puede aproximarse mediante

$$A(v) = 10 \log(1 + \varepsilon^2 v^{2n}) \approx 10 \log(\varepsilon^2 v^{2n}) = 20 \log \varepsilon + 20n \log v \quad (3.7)$$

a) Gráfica de THD de Corriente con Filtro en Simulink

La presente gráfica muestra la onda que existió en la simulación de la topología de la figura 3.8 con un filtro Butterworth, como se muestra en la figura 3.25.

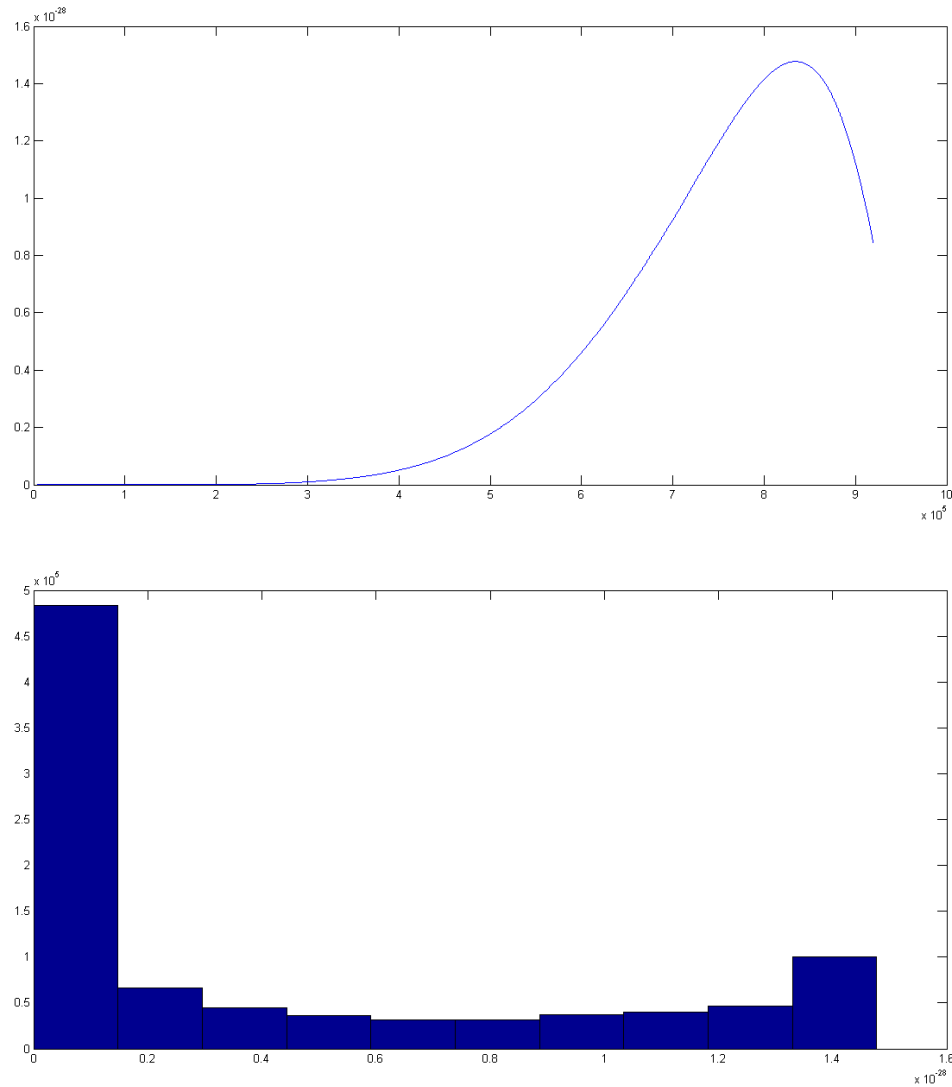


Figura 3. 25 Simulación de THD de Corriente con Filtro Butterworth

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Simulink puede obtener las diferentes ondas y la respuesta que dará el sistema una vez filtrada la señal en mención llegando a uno de los objetivos planteados en el estudio, en la figura 3.25 podremos visualizar las ondas las cuales se obtienen de la simulación, aquí observamos la onda de respuesta o filtrada.

b) Gráfica de THD de Voltaje con Filtro en Simulink

La presente gráfica muestra la onda que existió en la simulación de la topología de la figura 3.8 con un filtro Butterworth, como se muestra en la figura 3.26.

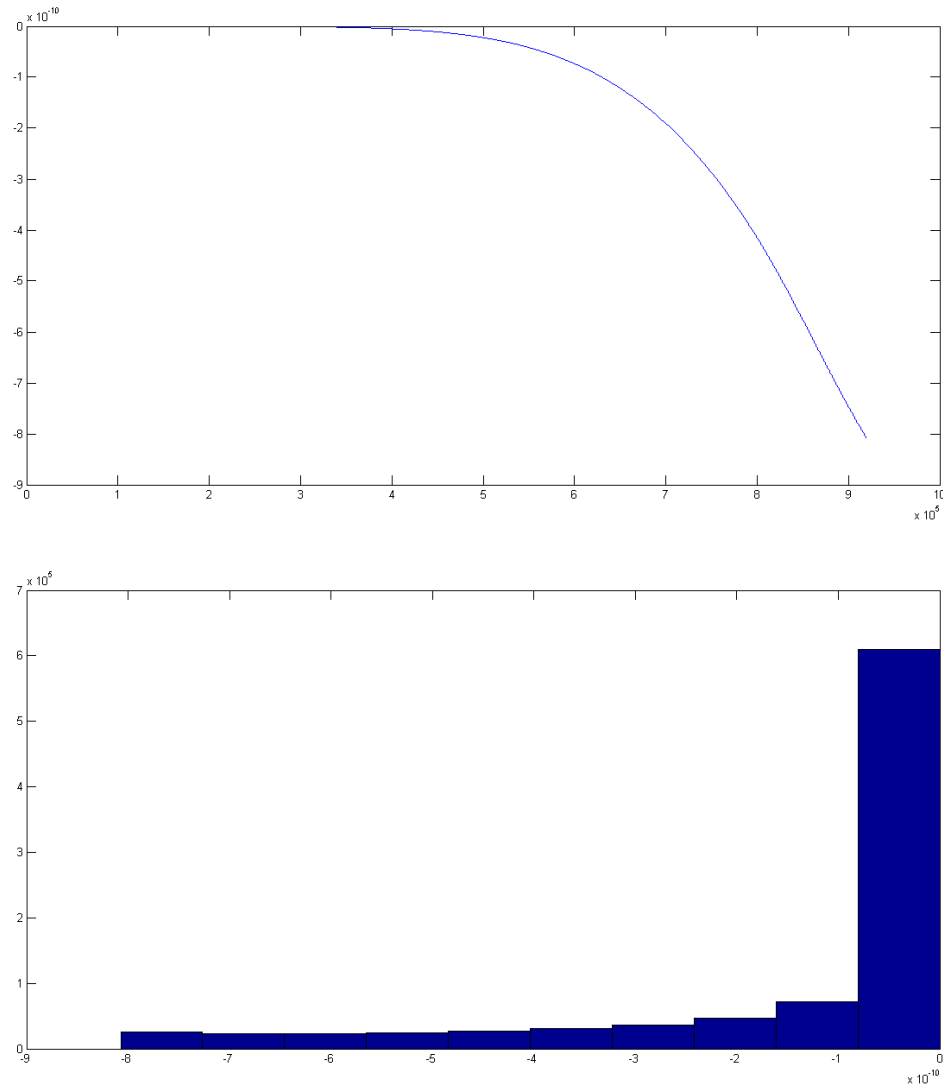


Figura 3. 26 Simulación de THD de Voltaje con Filtro Butterworth

Fuente: Plataforma Simulink de Matlab

Simulink puede obtener las diferentes ondas y la respuesta que dará el sistema una vez filtrada la señal en mención llegando a uno de los objetivos planteados en el estudio, en la figura 3.26 podremos visualizar las ondas las cuales se obtienen de la simulación, aquí observamos la onda de respuesta o filtrada.

CAPÍTULO IV

4. EFICIENCIA DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN A NIVEL RESIDENCIAL

4.1 Demanda Promedio Mensual de Consumo de Energía

La presencia del gas que llega a la mayoría de las viviendas ejerce una notable incidencia en las características del consumo eléctrico residencial. Es así que, a diferencia de otros países, es casi inexistente el calentamiento del agua, en los hogares, por medios eléctricos.[32]

En lo que se refiere a la cocción, apenas el microondas compite con las hornillas y el horno alimentado por gas.

Se pueden agrupar al equipamiento eléctrico hogareño teniendo en cuenta su diferente comportamiento frente a la red. Con este criterio es posible diferenciar cuatro grupos de consumo:

a) Aparatos que presentan fuerte comportamiento alineal

Televisores, Videos, microondas, equipos de audio, computadoras personales, iluminación fluorescente con balasto electrónico sin filtro, lámparas fluorescentes compactas. En estos equipos, la corriente se encuentra prácticamente en fase con la tensión presentando frecuentemente un leve comportamiento capacitivo.[33]

b) Aparatos que presentan comportamiento lineal y la corriente en fase con la tensión.

Cargas totalmente resistivas: lámparas incandescentes, estufas, secadores de pelo. Estos aparatos pueden presentar un comportamiento fuertemente distorsivo en el caso en que se realice un control de potencia por medios electrónicos.[34]

c) Aparatos que presentan comportamiento “cuasi lineal”

Su corriente se encuentra desfasada respecto a la tensión: heladeras, lavarropas, ventiladores, secarropas, lavaplatos, equipo de aire acondicionado, e iluminación fluorescente con balasto magnético.

d) Aparatos que presentan distorsión y desfasaje simultáneo.

Fuera de esta calificación podemos incorporar a aquellos artefactos que por sus características intrínsecas serian causantes de desfase o deformación, pero este comportamiento fue corregido por el fabricante o por el usuario.[35]

En la clasificación anterior es preciso diferenciar el peso relativo de cada una de las cargas mencionadas en cuanto a su aporte a la demanda eléctrica total de la vivienda. Por ejemplo la conexión de una estufa de 2000 Watt frente a otras posibles cargas conectadas (heladera 150W, televisor 100W) modifica en forma notable la característica del consumo.[36]

Como se puede evidenciar la cocina de inducción tiene mayor consumo por el trabajo propio que realiza tomando en cuenta la potencia que se genera versus el tiempo que se utiliza, sin embargo su eficiencia la caracteriza como la mejor como lo veremos en la tabla4.1.

Tipo de Equipo	Eficiencia
Cocina a Gas	0,58
Cocina Eléctrica Convencional	0,45
Cocina Eléctrica a Inducción	0,82

Tabla 4. 1 Eficiencia de las Cocinas

Fuente: Autor

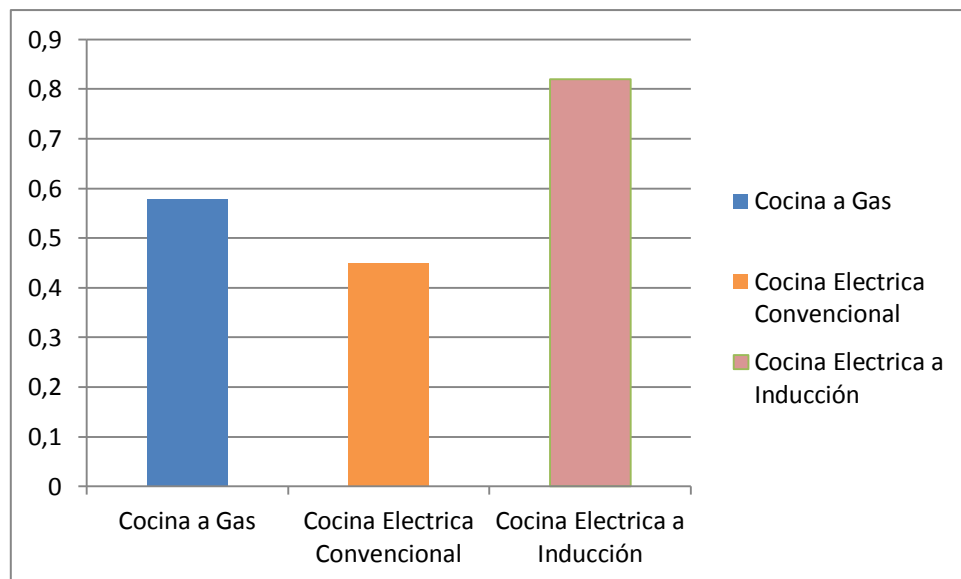


Figura 4. 1 Eficiencia de las Cocinas tomada de Tabla4.1

Fuente: Autor

El cliente típico residencial promedio mensualmente consume entre 70 a 100 kWh/mes, con la incursión de la cocina a inducción se determinó un consumo promedio por el uso de la tecnología es de 100 kWh/mes en el sector rural.[37]

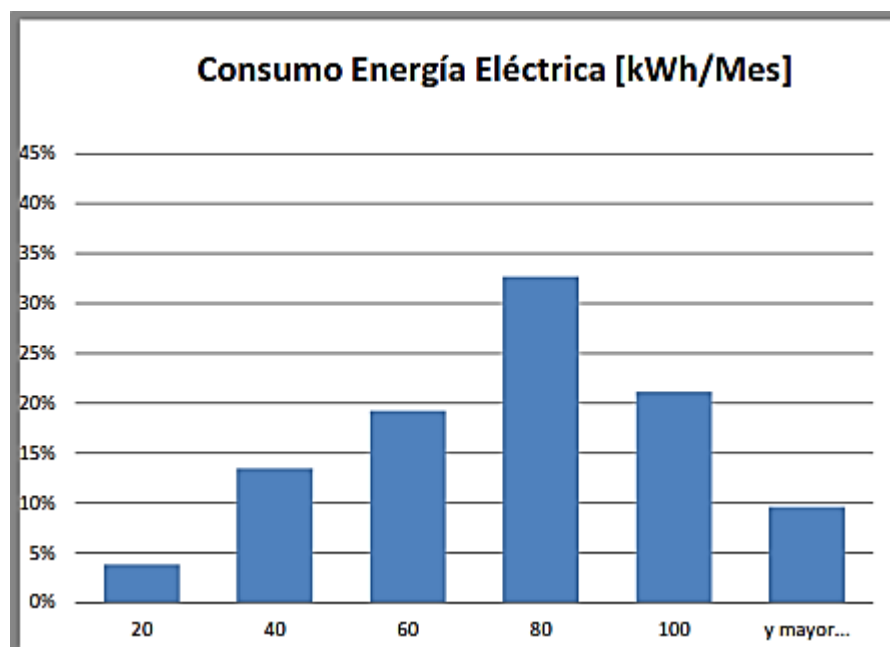


Figura 4. 2 Consumos de Energía Eléctrica por uso de los Sistemas de Cocción por Inducción

Fuente: Schneider, "Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos,"

A nivel del sistema de distribución eléctrica la implementación de cocinas de inducción incrementa la demanda de energía en niveles que son incorporados por el sistema, sin presentar problemas en su funcionamiento.

4.2 Consumo de Cliente Típico Promedio Residencial

A continuación se ilustrara el aumento de consumo en base a la planilla para la determinación de demandas unitarias de diseño, la cual nos permitirá observar a detalle el aumento de carga con la cocina de inducción, tomando en cuenta las normas de la Empresa Eléctrica Quito mediante un estudio de carga.[37]

PLANILLA PARA LA DETERMINACION DE DEMANDAS UNITARIAS DE DISEÑO							
ITEM		CANT	Pn(W)	FFUn (%)	CIR (W)	FSn (%)	DMU (W)
1	Salidas puntos de iluminación	12,00	60,00	90,00	648	80	518
2	Refrigeradora	1,00	400,00	90,00	360	80	288
3	Lavadoras	1,00	400,00	50,00	200	50	100
4	Batidora	1,00	150,00	40,00	60	30	18
5	plancha	1,00	600,00	30,00	180	30	54
6	Televisor	2,00	200,00	90,00	360	80	288
7	Equipo de Sonido	1,00	100,00	90,00	90	60	54
8	Secadora de Pelo	1,00	100,00	20,00	20	30	6
9	Computador	1,00	400,00	40,00	160	80	128
10	Ducha Eléctrica	1,00	3000,00	40,00	1200	40	480
11	Tomacorriente	18,00	250,00	50,00	2250	30	675
12	Cocina de Inducción	1	4000,00	50,00	2000	50	1.000
TOTAL					7528		3.609
Factor de Diversidad		1					
Factor de Potencia FP		0,90		Factor de Demanda $FDM=DMU(W)/CIR(W)$			0,48
DMU (kVA)		4,01					
Ing. Proyectista							

Tabla 4. 2 Estudio de Carga Residencial

Fuente: Autor

4.3 Ventajas y Desventajas de la Utilización de las Cocinas de Inducción.

4.3.1 Ventajas

Tecnología para cocciones más rápidas y eficientes, ahorrando hasta un 20% de energía en comparación a una resistencia eléctrica normal.[38]

Función de calentamiento rápido, el cual reduce los tiempos de cocción incrementando a máxima potencia el funcionamiento en las zonas de cocción por un tiempo limitado.

Eficiencia energética. Las cocinas de inducción aprovechan casi en su totalidad la energía que consumen en lo que interesa cocinar. Su tecnología permite que no haya prácticamente fugas de calor y que este se concentre únicamente en las cacerolas y su contenido. Tanto es así que ni la placa se calienta a penas, por no decir el espacio alrededor, en el que no se notará un incremento de la temperatura. Frente a un 40% de eficiencia de las cocinas a gas (es decir, de Gs. 100.000 gastados en gas, Gs. 60.000 se dispersan por el ambiente y solo Gs. 40.000 son aprovechados en la cocción) y un 74% de las cocinas eléctricas tradicionales, la inducción ofrece más de un 85% de aprovechamiento.[39]

Facilidad de limpieza. Su poco peso, su superficie lisa y el hecho de que esta no se sobrecaliente, evitando que restos de alimentos se carbonicen sobre ella, hacen que la limpieza ocupe un par de minutos.

Detección automática del recipiente. Si se sacó la olla, cacerola o sartén de encima, automáticamente la cocina deja de generar calor, permaneciendo en standby hasta que detecta nuevamente un recipiente sobre su superficie. De esta manera, se pueden despreocupar del derroche de energía.

Menos contaminación ambiental. En países como el nuestro, cuya electricidad no proviene de combustibles fósiles, el impacto ambiental que genera el uso de una cocina de inducción es mínimo.

No existiría peligro de explosión, fuga e intoxicación por gas y quemaduras. Tu familia estará más segura.

4.3.2 Desventajas

Utensilios de cocina. Las placas de inducción funcionan exclusivamente con utensilios de cocina de base plana y que estén fabricados con acero o hierro ferromagnéticos. Los cuales tienen un precio más elevado que el tradicional menaje de cocina de aluminio.

Precio más elevado, su costo inicial también es superior al de otras cocinas.

Si el suministro eléctrico falla, no se puede cocinar.

Radiación electromagnética. Aunque no existen estudios que demuestren que este tipo de cocina perjudica la salud (tampoco que lo niegue), se sabe que el campo magnético puede penetrar en el cuerpo e inducir otros campos y corrientes eléctricas. Los estándares actuales funcionan con corrientes 50 veces más pequeñas que el umbral para la estimulación del sistema nervioso central. No obstante existen dudas de si estas corrientes podrían afectar a personas que tienen implantado un marcapasos, modificando su funcionamiento.[40]

CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes a las que se ha llegado después del desarrollo de la presente tesis, adicionalmente se dan algunas recomendaciones para optimizar el análisis y mitigación de armónicos.

La distorsión armónica puede causar serios problemas para los usuarios a nivel de distribución, ya que en la red puede producirse desde un disparo inadvertido de los dispositivos de protección, hasta un peligroso sobrecalentamiento de transformadores, y conductores de tierra. En los conductores, los armónicos de corriente generan un incremento de las pérdidas por efecto Joule, debido al efecto pelicular, ya que las corrientes de alta frecuencia, sólo circulan por la superficie de los conductores, concentrando el calentamiento en esas zonas.

A través del análisis, modelación, simulación y comportamientos de las señales distorsionadas se estableció tratar con un filtro Butterworth, ya que estos impiden el paso de una frecuencia particular armónica, en función del arreglo de un inductor y un condensador en paralelo que se posicionan en serie a la parte de la red que se desea proteger.

Mediante el estudio realizado se establece que la corrección de la distorsión armónica no puede realizarse al 100%, siempre quedara una pequeña distorsión por la sumatoria de las diferentes cargas que contiene el sistema eléctrico y por su complejidad en las características técnicas de los diferentes equipos que lo componen, lo interesante es que se dé cumplimiento a los diferentes manifiestos que dan las normativas, y así evitar que las pérdidas no perjudique el flujo económico-técnico de las empresas distribuidoras.

En base al análisis realizado mediante la simulación del filtro, se observa una corrección el de THD, la forma de onda corregida se puede apreciar en la figuras, el filtro realiza la corrección únicamente en la armónica individual. Adicionalmente, el filtro Butterworth no tiene pico alguno en la región de la frecuencia de corte, pero mantiene una ganancia

constante en un rango menor de frecuencia, ya que empieza a disminuir mucho antes de la frecuencia de corte, lo cual permite alcanzar los resultados esperados según la normativa estudiada.

Una de las mayores ventajas del filtro, es que proporciona una máxima atenuación para una armónica individual, a frecuencia fundamental y tiene bajas pérdidas, las cuales asociadas a la resistencia del inductor y la resistencia del filtro se evita la amplificación. Sin embargo, la mayor desventaja es la vulnerabilidad a la desintonía debido a las tolerancias de elementos con la temperatura y/o variaciones de frecuencia fundamental, ya que estos interactúan con la red originando una resonancia paralela al igual que un banco de condensadores.

La utilización de programas de simulación y diseño como Matlab, tienen las ventajas primordiales de facilitar un entorno visual para un profundo análisis matemático y por sobre todo la capacidad de minimizar el tiempo de trabajo del diseño y análisis del comportamiento de los filtros.

RECOMENDACIONES

Se debería continuar con el desarrollo mediante la construcción del modelo analizado en el presente estudio en la cual se pueda construir el filtro con los datos obtenidos del análisis y de la simulación, mediante la electrónica de potencia lo que permite abarcar un gran campo a costos medianamente reducidos, para así corregir las pérdidas técnicas y económicas en la red de distribución.

Una vez detectados los problemas de calidad debido a los armónicos, en todos los puntos evaluados, es responsabilidad de la empresa distribuidora, corregir estos inconvenientes identificando las causas y origen de los mismos, que provocan los incumplimientos en las normativas.

Es recomendable pedir que el órgano regulador en el país profundice más en el aspecto de las penalizaciones y compensaciones para así determinar una función de costos aplicables en el sector eléctrico regido a través de las normativas vigentes.

Como la distorsión armónica es un fenómeno continuo, debe ser caracterizada por mediciones en el tiempo y no solamente mediante muestreos instantáneos, para asegurar la exactitud de las mediciones realizadas y sobre las conclusiones que de ellas deriven.

De acuerdo a la evaluación realizada en el presente trabajo se detectó un cumplimiento de la calidad relacionado con el THD presente en la cocina de inducción donde se efectuaron las mediciones, debido principalmente por la presencia de armónicos de corrientes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Compañía Owlcroft, «The Induction Site,» 17 02 2013. [En línea]. Available: <http://theinductionsite.com/how-induction-works.shtml>. [Último acceso: 09 10 2014].*
- [2] *D. F. R. Vassallo, ELECTROTECNIA GENERAL, Perú, 164 - Barcelona-20: Ediciones CEAC, 1983.*
- [3] *A. H. Donate, Principios de Electricidad y Electrónica II, Barcelona: MARCOMBO S.A., 1999.*
- [4] *CONELEC, «Plan Maestro de Electrificación 2013-2022,» Advantlogic Ecuador S.A., Cuenca, 2013.*
- [5] *Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2013,» Central, Quito , 2014.*
- [6] *Ministerio de Electricidad y Eficiencia Energética, «Energía,» 01 01 2013. [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>. [Último acceso: 10 10 2014].*
- [7] *Ministerio de Electricidad y Energia Renovable, «Informe de resultados de la implementación del “Plan Fronteras para Sustitución de Cocinas de Inducción en el Carchi”,» MEER, Quito, 2013.*
- [8] *J. P. Muñoz Vizhñay, «La Matriz Energética Ecuatoriana,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2013.*
- [9] *D. X. Morales Jadán, «Cálculo de la energía no suministrada por la empresa eléctrica regional CENTROSUR C.A. utilizando el GIS como Herramienta Informática,» Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, 2009.*
- [10] *F. Barrero Gonzáles, Sistema de Energía Eléctrica, Madrid: Paraninfo, 2004.*
- [11] *CONELEC, «Resolución No. 0116/01,» CONELEC, Quito, 2001.*
- [12] *CIRCUTOR, «Procedimiento para el Estudio y Análisis de Perturbaciones Armónicas,» Circutor, Barcelona, 2012.*
- [13] *A. A. Pérez Miguel, N. Bravo de Medina y M. Lorente Antón, La Amenaza de los Armónicos y sus soluciones, Madrid: Paraninfo, 2000.*

- [14] RTR Energía, «RTR Energía,» 1 12 2012. [En línea]. Available: http://www.rtrenergia.es/rtr/ficheros/armonicos_2012.pdf. [Último acceso: 04 11 2014].
- [15] Ministerio de Industrias y Productividad, «RTE INEN 101 "Artefactos Electrodomésticos para Cocción por Inducción",» MIPRO, Quito, 2014.
- [16] E. Joseph, *Circuitos Eléctricos*, 1era edición ed., España: McGRAW-HILL, 2005.
- [17] F. V. Vera, *Efectos del empleo de focos ahorradores, Estudio tecnico experimental en instalaciones*, Cuenca: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2011.
- [18] I. 5. -1992, «Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia,» IEEE, New York, 1992.
- [19] E. A. Cushicóndor Collaguazo, *Diseño y Construcción de un Prototipo de una Cocina de Inducción Electromagnetica.*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009, p. 4.
- [20] J. M. Alonso Álvarez, *Inversores Resonantes de Alta Frecuencia*, Gijón: Universidad de Oviedo, 1999.
- [21] J. N. Hincapié, A. Trejos, M. E. Moncada y A. Escobar, «Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción domestica: revisión de estado del arte.,» *Revista Ingenieria y Ciencia*, vol. 9, n° 18, pp. 237-262, 2013.
- [22] Fairchild Semiconductor Corporation, «fairchildsemi,» 18 12 2013. [En línea]. Available: www.fairchildsemi.com. [Último acceso: 02 02 2015].
- [23] J. Balcells, J. Autonell, V. Barra y J. Ros, *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica*, Barcelona: Circutor S.A, 2011.
- [24] S. Gopinathan, "IMPROVED AC-AC CONVERTER FOR INDUCTION HEATING," no. 2, pp. 55–59, 2013.
- [25] J. Huang and V. Cai, "Induction Cooker Design with CapSense ® Induction Cooker : Working Principle CY8C22x45 Overview," no. 001, pp. 1–16.
- [26] F. R. Ahmad and a. M. Omar, "The Low Power Induction Heating Using Resonant Technique," 2005 Int. Conf. Power Electron. Drives Syst., vol. 2, pp. 2–5, 2005.
- [27] D. Paesa, S. Llorente, C. Sagüés, and Ó. ' Aldana, "Adaptive observers applied to pan temperature control of induction hobs," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 45, no. 3, pp. 1116–1125, 2009.

- [28] C. Ekkaravarodome, P. Charoenwiangnuea, and K. Jirasereeamornkul, "The simple temperature control for induction cooker based on class-E resonant inverter," 2013 10th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Telecommun. Inf. Technol. ECTI-CON 2013, 2013.
- [29] "Fluke 435 Series II Energy Analyzer with Advanced Power Quality Functions." [Online]. Available: <http://www.fluke.com/Fluke/inen/Power-Quality-Tools/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>. [Accessed: 10-Feb-2015].
- [30] S. Manual, "Fluke 433, 434, 435," 2007.
- [31] J. Luis, D. Rodríguez, I. Luis, and D. Pabón, "COMPARATIVE ANALYSIS OF HARMONIC DISTORTION IN POWER," 2012.
- [32] E. G. Vicente, "Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción," 1999.
- [33] Schneider, "Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos," 2011.
- [34] H. Sarnago, O. Lucia, A. Mediano, and J. M. Burdio, "Modulation scheme for improved operation of an RB-IGBT-based resonant inverter applied to domestic induction heating," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 5, pp. 2066–2073, 2013.
- [35] G. Mart, "Induction heating converter ' s design , control and modeling applied to continuous wire heating," no. June, 2012.
- [36] M. Cuenca, "Preestudio para el desarrollo de un equipo de calentamiento por inducción," Univ. autónoma Madrid, <http://www.uam.es/> ..., pp. 1–5.
- [37] I. D. E. La, I. Del, C. D. E. Inducción, E. En, R. Del, S. U. R. S. A. En, and L. A. Ciudad, "Universidad de cuenca," 2014.
- [38] Meer, "Ministerio de Electricidad y Energía Renovable," *Desarro. Estud. para Aprovech. Recur. Renov. para el país*, p. <http://www.energia.gob.ec/desarrollo-de-estudios-p>, 2013.
- [39] Empresa Eléctrica Quito S.A., "Normas Para Sistemas De Distribución," vol. PARTE C, pp. 1–99, 2014.
- [40] E. D. E. Inducción, "Estufa de inducción."
- [41] "Ventajas y desventajas de la cocina de inducción | TuMejorCompra." [Online]. Available: <http://www.tmc.com.py/v1/ventajas-y-desventajas-de-la-cocina-de-induccion/>. [Accessed: 16-Feb-2015].

ANEXOS

Anexo A1

Se presenta las mediciones tomadas con el Analizador de Energía Marca Fluke.

Fecha	Hora	Tension	Corriente L1 Med	THD V L1N	THD V L2N	THD V NG	THD A L1	THD A L2	THD A N	THD W L1N	THD W L2N
15/12/2014	20:41:15.538	111,22	8	0	0	1,5	2,05	0,1	5,47	327,67	0,57
15/12/2014	20:46:15.538	113,16	13	0	0	2,04	0,02	0,02	5,61	1,13	0,25
15/12/2014	20:51:15.538	112,99	13	0	0	1,68	0,02	0,02	6	1,02	0,26
15/12/2014	20:56:15.538	113,1	13	0	0	1,45	0,02	0,02	5,81	0,99	0,32
15/12/2014	21:01:15.538	113,53	13	0	0	1,39	0,02	0,02	6,24	1,05	0,43
15/12/2014	21:06:15.538	114,18	9	0	0	1,36	0,02	0,03	6,48	0,84	0,31
15/12/2014	21:11:15.538	114,16	9	0	0	1,38	0,02	0,03	6,53	0,76	0,37
15/12/2014	21:16:15.538	114,56	9	0	0	1,44	0,03	0,03	6,81	0,7	0,45
15/12/2014	21:21:15.538	114,52	12	0	0	1,5	0,02	0,02	6,95	0,84	0,4
15/12/2014	21:26:15.538	115,02	7	0	0	1,48	0,03	0,03	7,32	0,7	0,58
15/12/2014	21:31:15.538	115,2	7	0	0	1,4	0,03	0,02	7,72	0,68	0,83
15/12/2014	21:36:15.538	115,31	15	0	0	1,38	0,02	0,01	8	0,78	0,55
15/12/2014	21:41:15.538	114,42	16	0	0	1,35	0,02	0,01	8,22	0,88	0,51
15/12/2014	21:46:15.538	113,51	12	0	0	1,35	0,03	0,02	8,24	1,18	0,6
15/12/2014	21:51:15.538	112,84	15	0	0	1,35	0,02	0,01	8,58	1,01	0,53
15/12/2014	21:56:15.538	112,69	18	0	0	1,41	0,01	0,01	8,12	0,82	0,55
15/12/2014	22:01:15.538	112,87	18	0	0	1,42	0,01	0,01	8,53	0,74	0,35
15/12/2014	22:06:15.538	112,39	14	0	0	1,4	0,01	0,02	8,55	0,77	0,48
15/12/2014	22:11:15.538	111,29	19	0	0	1,42	0,01	0,02	8,52	0,85	0,33
15/12/2014	22:16:15.538	110,89	23	0	0	1,44	0,01	0,01	8,28	0,84	0,41
15/12/2014	22:21:15.538	111,45	13	0	0	1,49	0,02	0,03	8,56	1,03	0,63
15/12/2014	22:26:15.538	111,77	15	0	0	1,5	0,02	0,03	8,44	1,06	0,61

15/12/2014	22:31:15.538	111,91	13	0	0	1,53	0,02	0,03	8,45	1,11	0,54
15/12/2014	22:36:15.538	111,93	9	0	0	1,52	0,03	0,03	8,08	0,93	0,84
15/12/2014	22:41:15.538	112,59	7	0	0	1,52	0,03	0,05	8,09	0,81	0,43
15/12/2014	22:46:15.538	112,79	9	0	0	1,53	0,03	0,05	8,3	0,85	0,42
15/12/2014	22:51:15.538	113,05	11	0	0	1,56	0,02	0,06	8,32	0,89	0,35
15/12/2014	22:56:15.538	113,37	8	0	0	1,53	0,03	0,06	8,18	0,79	0,39
15/12/2014	23:01:15.538	113,68	9	0	0	1,54	0,02	0,1	8,2	0,85	0,7
15/12/2014	23:06:15.538	113,33	9	0	0	1,56	0,02	0,05	8,31	0,81	0,66
15/12/2014	23:11:15.538	113,3	9	0	0	1,55	0,02	0,03	8,28	0,76	0,78
15/12/2014	23:16:15.538	113,79	8	0	0	1,52	0,03	0,04	8,2	0,7	0,78
15/12/2014	23:21:15.538	114,18	6	0	0	1,5	0,04	0,04	8,56	0,59	0,77
15/12/2014	23:26:15.538	113,95	8	0	0	1,52	0,03	0,04	8,44	0,56	0,62
15/12/2014	23:31:15.538	114,11	8	0	0	1,5	0,03	0,06	8,53	0,58	0,7
15/12/2014	23:36:15.538	114,2	10	0	0	1,47	0,02	0,08	8,6	0,65	0,66
15/12/2014	23:41:15.538	114,52	9	0	0	1,44	0,02	0,06	8,7	0,63	0,68
15/12/2014	23:46:15.538	114,62	9	0	0	1,43	0,02	0,09	8,66	0,66	0,62
15/12/2014	23:51:15.538	114,22	8	0	0	1,41	0,02	0,1	8,86	0,64	0,6
15/12/2014	23:56:15.538	114,27	8	0	0	1,39	0,02	0,11	8,8	0,62	0,78
16/12/2014	00:01:15.538	114,32	10	0	0	1,38	0,02	0,11	8,82	0,61	0,74
16/12/2014	00:06:15.538	114,6	8	0	0	1,35	0,02	0,14	8,65	0,5	0,65
16/12/2014	00:11:15.538	114,73	9	0	0	1,35	0,02	0,14	8,49	0,52	0,66
16/12/2014	00:16:15.538	114,95	7	0	0	1,35	0,03	0,09	8,64	0,48	0,67
16/12/2014	00:21:15.538	115,14	6	0	0	1,36	0,05	0,14	8,56	0,45	0,64
16/12/2014	00:26:15.538	115,36	5	0	0	1,34	0,06	0,15	8,56	0,56	0,67
16/12/2014	00:31:15.538	115,66	5	0	0	1,33	0,06	0,13	8,59	0,74	0,69
16/12/2014	00:36:15.538	115,55	5	0	0	1,32	0,06	0,07	8,82	0,7	0,79
16/12/2014	00:41:15.538	114,94	6	0	0	1,31	0,05	0,07	8,74	0,72	0,79
16/12/2014	00:46:15.538	114,99	8	0	0	1,31	0,03	0,07	8,72	0,55	0,77

16/12/2014	00:51:15.538	115,07	8	0	0	1,32	0,03	0,06	8,51	0,57	0,74
16/12/2014	00:56:15.538	115,36	5	0	0	1,29	0,05	0,07	8,67	0,46	0,77
16/12/2014	01:01:15.538	115,64	4	0	0	1,27	0,06	0,14	8,35	0,44	0,66
16/12/2014	01:06:15.538	115,59	4	0	0	1,26	0,06	0,15	8,39	0,43	0,68
16/12/2014	01:11:15.538	115,47	4	0	0	1,25	0,06	0,16	8,38	0,43	0,51
16/12/2014	01:16:15.538	115,41	8	0	0	1,26	0,03	0,16	8,52	0,46	0,44
16/12/2014	01:21:15.538	115,11	11	0	0	1,24	0,02	0,11	8,33	0,5	0,46
16/12/2014	01:26:15.538	115,14	14	0	0	1,23	0,02	0,15	8,32	0,52	0,44
16/12/2014	01:31:15.538	115,3	13	0	0	1,21	0,02	0,16	8,44	0,39	0,42
16/12/2014	01:36:15.538	115,5	9	0	0	1,23	0,03	0,09	8,3	0,38	0,47
16/12/2014	01:41:15.538	115,88	4	0	0	1,19	0,05	0,09	8,3	0,45	0,51
16/12/2014	01:46:15.538	116,01	4	0	0	1,19	0,05	0,09	8,03	0,45	0,49
16/12/2014	01:51:15.538	116,16	4	0	0	1,22	0,05	0,09	8,23	0,43	0,52
16/12/2014	01:56:15.538	115,91	7	0	0	1,23	0,03	0,06	8,37	0,37	0,65
16/12/2014	02:01:15.538	115,81	8	0	0	1,22	0,03	0,08	8,14	0,36	0,72
16/12/2014	02:06:15.538	115,96	7	0	0	1,19	0,03	0,05	8,11	0,32	0,68
16/12/2014	02:11:15.538	116,06	6	0	0	1,18	0,03	0,07	8,08	0,31	0,7
16/12/2014	02:16:15.538	116,06	4	0	0	1,17	0,05	0,08	8,17	0,32	0,71
16/12/2014	02:21:15.538	115,95	3	0	0	1,18	0,12	0,08	8,29	0,33	0,71
16/12/2014	02:26:15.538	115,99	2	0	0	1,18	0,15	0,07	8,3	0,34	0,7
16/12/2014	02:31:15.538	116,02	2	0	0	1,17	0,16	0,13	8	0,34	0,68
16/12/2014	02:36:15.538	116,08	2	0	0	1,16	0,16	0,19	8,07	0,36	0,78
16/12/2014	02:41:15.538	115,94	6	0	0	1,16	0,08	0,19	8,19	0,37	0,78
16/12/2014	02:46:15.538	115,68	11	0	0	1,18	0,02	0,18	8,15	0,38	0,75
16/12/2014	02:51:15.538	115,8	10	0	0	1,18	0,02	0,19	8,1	0,38	0,76
16/12/2014	02:56:15.538	115,93	9	0	0	1,16	0,03	0,19	8,14	0,41	0,77
16/12/2014	03:01:15.538	116,12	9	0	0	1,14	0,02	0,14	8,05	0,42	0,74
16/12/2014	03:06:15.538	116,12	9	0	0	1,16	0,02	0,19	8,19	0,41	0,8

16/12/2014	03:11:15.538	116,3	9	0	0	1,16	0,02	0,22	8,16	0,4	0,84
16/12/2014	03:16:15.538	116,5	9	0	0	1,17	0,02	0,22	8,07	0,37	0,82
16/12/2014	03:21:15.538	116,29	9	0	0	1,18	0,02	0,22	8,03	0,32	0,82
16/12/2014	03:26:15.538	116,39	9	0	0	1,16	0,02	0,21	8,07	0,33	0,82
16/12/2014	03:31:15.538	116,48	5	0	0	1,15	0,04	0,2	8,19	0,31	0,84
16/12/2014	03:36:15.538	116,24	3	0	0	1,14	0,12	0,04	8,17	0,34	0,66
16/12/2014	03:41:15.538	116,46	2	0	0	1,13	0,15	0,05	7,93	0,36	0,71
16/12/2014	03:46:15.538	116,3	2	0	0	1,14	0,14	0,05	7,93	0,35	0,71
16/12/2014	03:51:15.538	116,42	3	0	0	1,15	0,12	0,06	8,18	0,32	0,69
16/12/2014	03:56:15.538	116,37	7	0	0	1,16	0,03	0,05	8,04	0,34	0,73
16/12/2014	04:01:15.538	116,55	7	0	0	1,15	0,03	0,11	8,19	0,33	0,71
16/12/2014	04:06:15.538	116,63	7	0	0	1,15	0,03	0,11	8,11	0,33	0,71
16/12/2014	04:11:15.538	116,4	8	0	0	1,15	0,03	0,11	8,38	0,33	0,7
16/12/2014	04:16:15.538	116,24	9	0	0	1,15	0,02	0,21	8,24	0,35	0,89
16/12/2014	04:21:15.538	116,08	7	0	0	1,15	0,03	0,22	8,24	0,35	0,89
16/12/2014	04:26:15.538	116,4	4	0	0	1,14	0,09	0,22	8,42	0,37	0,87
16/12/2014	04:31:15.538	116,28	4	0	0	1,15	0,07	0,22	8,3	0,35	0,9
16/12/2014	04:36:15.538	116,24	5	0	0	1,16	0,04	0,22	8,06	0,35	0,9
16/12/2014	04:41:15.538	115,99	7	0	0	1,17	0,03	0,19	8,23	0,4	0,89
16/12/2014	04:46:15.538	115,97	8	0	0	1,16	0,03	0,14	8,36	0,42	0,81
16/12/2014	04:51:15.538	115,84	10	0	0	1,16	0,02	0,21	8,12	0,41	0,98
16/12/2014	04:56:15.538	115,53	11	0	0	1,17	0,02	0,21	7,99	0,39	1,09
16/12/2014	05:01:15.538	115,6	7	0	0	1,18	0,03	0,21	8,26	0,34	1,08
16/12/2014	05:06:15.538	115,04	7	0	0	1,17	0,03	0,1	8,11	0,39	1,03
16/12/2014	05:11:15.538	114,29	9	0	0	1,19	0,02	0,08	8,15	0,42	1,02
16/12/2014	05:16:15.538	113,82	8	0	0	1,19	0,03	0,07	8,3	0,45	0,99
16/12/2014	05:21:15.538	113,94	6	0	0	1,19	0,03	0,07	7,93	0,44	1,03
16/12/2014	05:26:15.538	113,81	6	0	0	1,17	0,03	0,08	8,12	0,46	1,13

16/12/2014	05:31:15.538	113,49	8	0	0	1,17	0,03	0,19	8,21	0,46	1,14
16/12/2014	05:36:15.538	113,21	8	0	0	1,2	0,03	0,21	8,33	0,39	1,17
16/12/2014	05:41:15.538	115,28	5	0	0	1,19	0,09	0,21	8,25	0,26	1,35
16/12/2014	05:46:15.538	115,12	8	0	0	1,22	0,03	0,15	8,26	0,43	1,19
16/12/2014	05:51:15.538	114,58	8	0	0	1,22	0,02	0,07	8,31	0,28	0,75
16/12/2014	05:56:15.538	114,76	5	0	0	1,26	0,05	0,08	8,1	0,23	0,34
16/12/2014	06:01:15.538	114,79	8	0	0	1,29	0,03	0,05	8,39	0,17	0,29
16/12/2014	06:06:15.538	115,01	9	0	0	1,2	0,02	0,03	8,31	0,18	0,21
16/12/2014	06:11:15.538	114,31	7	0	0	1,17	0,04	0,06	8,32	0,33	0,21
16/12/2014	06:16:15.538	114,47	10	0	0	1,19	0,02	0,06	8,37	0,25	0,21
16/12/2014	06:21:15.538	114,47	13	0	0	1,17	0,01	0,07	8,33	0,22	0,24
16/12/2014	06:26:15.538	114,82	13	0	0	1,19	0,01	0,06	8,34	0,22	0,24
16/12/2014	06:31:15.538	114,59	11	0	0	1,32	0,01	0,07	8,44	0,21	0,34
16/12/2014	06:36:15.538	114,57	29	0	0	1,24	0,01	0,03	8,57	0,29	0,3
16/12/2014	06:41:15.538	114,49	11	0	0	1,17	0,02	0,04	8,36	0,35	0,35
16/12/2014	06:46:15.538	115,28	8	0	0	1,21	0,03	0,05	8,55	0,26	0,41
16/12/2014	06:51:15.538	115,44	7	0	0	1,21	0,03	0,05	8,51	0,23	0,33
16/12/2014	06:56:15.538	115,7	5	0	0	1,18	0,03	0,06	8,6	0,15	0,51
16/12/2014	07:01:15.538	115,38	7	0	0	1,17	0,02	0,06	8,59	0,22	0,52
16/12/2014	07:06:15.538	115,06	10	0	0	1,23	0,02	0,12	8,47	0,27	0,53
16/12/2014	07:11:15.538	114,92	10	0	0	1,26	0,02	0,11	8,53	0,25	0,52
16/12/2014	07:16:15.538	114,68	7	0	0	1,36	0,02	0,09	8,52	0,18	0,61
16/12/2014	07:21:15.538	114,01	8	0	0	1,29	0,02	0,08	8,6	0,26	0,47
16/12/2014	07:26:15.538	114,45	9	0	0	1,29	0,02	0,08	8,63	0,32	0,58
16/12/2014	07:31:15.538	113,68	12	0	0	1,37	0,02	0,1	8,48	0,29	0,68
16/12/2014	07:36:15.538	113,97	12	0	0	1,29	0,01	0,06	8,4	0,3	0,67
16/12/2014	07:41:15.538	113,91	8	0	0	1,3	0,02	0,1	8,32	0,3	0,59
16/12/2014	07:46:15.538	113,71	8	0	0	1,27	0,02	0,1	8,53	0,3	0,57

16/12/2014	07:51:15.538	113,4	8	0	0	1,3	0,02	0,1	8,51	0,3	0,57
16/12/2014	07:56:15.538	113,49	13	0	0	1,31	0,01	0,1	8,29	0,35	0,54
16/12/2014	08:01:15.538	113,39	12	0	0	1,25	0,02	0,07	8,36	0,35	0,51
16/12/2014	08:06:15.538	113,3	10	0	0	1,24	0,02	0,03	8,42	0,35	0,57
16/12/2014	08:11:15.538	115,3	10	0	0	1,25	0,02	0,04	8,36	0,33	0,66
16/12/2014	08:16:15.538	115,03	14	0	0	1,27	0,01	0,04	8,14	0,39	0,71
16/12/2014	08:21:15.538	114,75	11	0	0	1,3	0,02	0,06	8,07	0,38	0,75
16/12/2014	08:26:15.538	114,17	12	0	0	1,32	0,02	0,09	8,06	0,47	0,75
16/12/2014	08:31:15.538	113,87	11	0	0	1,29	0,02	0,15	8,31	0,41	0,68
16/12/2014	08:36:15.538	113,36	6	0	0	1,39	0,03	0,16	8,02	0,35	0,65
16/12/2014	08:41:15.538	114,57	9	0	0	1,24	0,02	0,1	8,16	0,35	0,62
16/12/2014	08:46:15.538	114,58	10	0	0	1,17	0,02	0,16	8,12	0,38	0,7
16/12/2014	08:51:15.538	113,95	8	0	0	1,16	0,02	0,16	8,1	0,36	0,67
16/12/2014	08:56:15.538	113,79	6	0	0	1,16	0,03	0,16	7,98	0,34	0,67
16/12/2014	09:01:15.538	113,28	6	0	0	1,12	0,03	0,16	7,97	0,35	0,71
16/12/2014	09:06:15.538	113,61	4	0	0	1,1	0,05	0,16	8,15	0,45	0,75
16/12/2014	09:11:15.538	113,03	4	0	0	1,08	0,05	0,11	7,89	0,45	0,65
16/12/2014	09:16:15.538	113,05	4	0	0	1,1	0,05	0,15	8,07	0,44	0,63
16/12/2014	09:21:15.538	113,45	7	0	0	1,11	0,03	0,16	8,12	0,45	0,73
16/12/2014	09:26:15.538	113,17	9	0	0	1,09	0,02	0,16	8,03	0,44	0,67
16/12/2014	09:31:15.538	113,45	9	0	0	1,08	0,02	0,06	7,92	0,44	0,68
16/12/2014	09:36:15.538	113,54	6	0	0	1,06	0,03	0,06	7,69	0,42	0,68
16/12/2014	09:41:15.538	113,48	6	0	0	1,07	0,03	0,06	7,85	0,42	0,7
16/12/2014	09:46:15.538	113,5	6	0	0	1,07	0,03	0,04	7,85	0,41	0,6
16/12/2014	09:51:15.538	113,65	6	0	0	1,06	0,03	0,07	7,82	0,42	0,7
16/12/2014	09:56:15.538	113,78	9	0	0	1,06	0,02	0,14	8,17	0,46	0,64
16/12/2014	10:01:15.538	113,55	11	0	0	1,05	0,02	0,16	7,93	0,52	0,66
16/12/2014	10:06:15.538	113,09	12	0	0	1,08	0,02	0,11	7,85	0,51	0,61

16/12/2014	10:11:15.538	112,7	12	0	0	1,15	0,02	0,08	7,99	0,49	0,6
16/12/2014	10:16:15.538	112,88	11	0	0	1,12	0,02	0,06	7,95	0,5	0,51
16/12/2014	10:21:15.538	113,6	8	0	0	1,07	0,03	0,08	7,91	0,47	0,56
16/12/2014	10:26:15.538	113,17	7	0	0	1,05	0,03	0,09	7,8	0,49	0,61
16/12/2014	10:31:15.538	112,92	6	0	0	1,06	0,03	0,09	8,06	0,44	0,61
16/12/2014	10:36:15.538	112,56	7	0	0	1,06	0,03	0,09	7,94	0,38	0,59
16/12/2014	10:41:15.538	112,5	7	0	0	1,06	0,03	0,09	8,09	0,36	0,6
16/12/2014	10:46:15.538	112,58	5	0	0	1,05	0,06	0,09	8,18	0,32	0,61
16/12/2014	10:51:15.538	112,48	6	0	0	1,09	0,03	0,05	7,99	0,29	0,54
16/12/2014	10:56:15.538	112,47	12	0	0	1,1	0,02	0,02	8,01	0,26	0,35
16/12/2014	11:01:15.538	112,37	10	0	0	1,11	0,02	0,02	7,86	0,24	0,38
16/12/2014	11:06:15.538	111,97	11	0	0	1,12	0,02	0,02	8,13	0,31	0,36
16/12/2014	11:11:15.538	112,5	9	0	0	1,11	0,02	0,02	7,97	0,21	0,35
16/12/2014	11:16:15.538	112,39	12	0	0	1,14	0,01	0,02	8,12	0,29	0,35
16/12/2014	11:21:15.538	112,12	11	0	0	1,1	0,02	0,02	8,1	0,32	0,37
16/12/2014	11:26:15.538	112,01	10	0	0	1,11	0,02	0,02	8,14	0,29	0,34
16/12/2014	11:31:15.538	112,19	13	0	0	1,12	0,01	0,02	8,15	0,27	0,26
16/12/2014	11:36:15.538	111,99	17	0	0	1,11	0,01	0,01	8,12	0,26	0,25
16/12/2014	11:41:15.538	111,66	15	0	0	1,06	0,01	0,02	8,13	0,27	0,26
16/12/2014	11:46:15.538	111,67	19	0	0	1,11	0,01	0,02	8,24	0,29	0,27
16/12/2014	11:51:15.538	111,43	18	0	0	1,14	0,01	0,02	8,04	0,3	0,27
16/12/2014	11:56:15.538	111,95	19	0	0	1,12	0,01	0,02	8,2	0,3	0,28
16/12/2014	12:01:15.538	112,4	18	0	0	1,14	0,01	0,02	8,15	0,28	0,29
16/12/2014	12:06:15.538	112,81	12	0	0	1,14	0,02	0,06	8,06	0,29	0,35
16/12/2014	12:11:15.538	113,23	6	0	0	1,12	0,03	0,17	8,31	0,3	0,55
16/12/2014	12:16:15.538	113,08	6	0	0	1,14	0,03	0,16	8,28	0,28	0,51
16/12/2014	12:21:15.538	113,04	4	0	0	1,16	0,09	0,15	8,26	0,24	0,49
16/12/2014	12:26:15.538	112,99	5	0	0	1,15	0,03	0,08	8,56	0,22	0,5

16/12/2014	12:31:15.538	113,42	4	0	0	1,12	0,08	0,04	8,43	0,25	0,56
16/12/2014	12:36:15.538	113,9	6	0	0	1,12	0,03	0,07	8,51	0,32	0,68
16/12/2014	12:41:15.538	113,93	8	0	0	1,13	0,02	0,07	8,52	0,38	0,7
16/12/2014	12:46:15.538	113,93	8	0	0	1,14	0,02	0,07	8,47	0,36	0,7
16/12/2014	12:51:15.538	113,96	7	0	0	1,15	0,03	0,09	8,42	0,36	0,66
16/12/2014	12:56:15.538	114,2	6	0	0	1,14	0,04	0,09	8,7	0,39	0,62
16/12/2014	13:01:15.538	114,52	10	0	0	1,15	0,02	0,08	8,31	0,4	0,63
16/12/2014	13:06:15.538	114,47	9	0	0	1,14	0,02	0,07	8,47	0,46	0,47
16/12/2014	13:11:15.538	114,07	11	0	0	1,16	0,02	0,08	8,49	0,49	0,51
16/12/2014	13:16:15.538	113,36	14	0	0	1,18	0,01	0,08	8,55	0,48	0,47
16/12/2014	13:21:15.538	113,04	8	0	0	1,19	0,02	0,08	8,57	0,38	0,45
16/12/2014	13:26:15.538	113,3	7	0	0	1,19	0,03	0,08	8,49	0,31	0,48
16/12/2014	13:31:15.538	113,46	7	0	0	1,19	0,02	0,08	8,53	0,26	0,48
16/12/2014	13:36:15.538	113,14	6	0	0	1,18	0,03	0,07	8,42	0,26	0,47
16/12/2014	13:41:15.538	113,47	4	0	0	1,18	0,1	0,08	8,61	0,32	0,5
16/12/2014	13:46:15.538	113,51	4	0	0	1,19	0,07	0,07	8,46	0,27	0,55
16/12/2014	13:51:15.538	113,7	2	0	0	1,18	0,16	0,05	8,67	0,32	0,58
16/12/2014	13:56:15.538	113,57	6	0	0	1,19	0,03	0,05	8,64	0,28	0,61
16/12/2014	14:01:15.538	113,36	9	0	0	1,2	0,02	0,05	8,5	0,46	0,54
16/12/2014	14:06:15.538	113,12	10	0	0	1,19	0,02	0,05	8,72	0,47	0,56
16/12/2014	14:11:15.538	112,86	7	0	0	1,19	0,03	0,04	8,57	0,47	0,53
16/12/2014	14:16:15.538	112,97	7	0	0	1,21	0,03	0,13	8,79	0,48	0,73
16/12/2014	14:21:15.538	112,75	7	0	0	1,22	0,03	0,13	8,52	0,49	0,74
16/12/2014	14:26:15.538	112,07	9	0	0	1,25	0,02	0,09	8,45	0,51	0,75
16/12/2014	14:31:15.538	112,12	10	0	0	1,24	0,02	0,09	8,67	0,52	0,8
16/12/2014	14:36:15.538	112,37	10	0	0	1,22	0,02	0,09	8,6	0,51	0,79
16/12/2014	14:41:15.538	112,46	4	0	0	1,22	0,05	0,08	8,62	0,31	0,75
16/12/2014	14:46:15.538	111,99	4	0	0	1,29	0,04	0,07	8,81	0,34	0,68

16/12/2014	14:51:15.538	112,04	7	0	0	1,23	0,02	0,08	8,61	0,35	0,72
16/12/2014	14:56:15.538	112,22	4	0	0	1,25	0,07	0,09	8,53	0,32	0,76
16/12/2014	15:01:15.538	112,29	4	0	0	1,25	0,05	0,09	8,55	0,35	0,79
16/12/2014	15:06:15.538	112,52	5	0	0	1,26	0,04	0,08	8,48	0,36	0,78
16/12/2014	15:11:15.538	112,31	6	0	0	1,23	0,03	0,05	8,47	0,36	0,77
16/12/2014	15:16:15.538	112,21	10	0	0	1,23	0,02	0,05	8,4	0,5	0,74
16/12/2014	15:21:15.538	112,47	8	0	0	1,26	0,02	0,07	8,34	0,55	0,88
16/12/2014	15:26:15.538	112,82	8	0	0	1,24	0,03	0,07	8,36	0,55	0,85
16/12/2014	15:31:15.538	113,26	7	0	0	1,21	0,03	0,07	8,34	0,54	0,87
16/12/2014	15:36:15.538	113,07	8	0	0	1,2	0,03	0,09	8,06	0,54	0,53
16/12/2014	15:41:15.538	112,59	13	0	0	1,21	0,02	0,1	8,25	0,56	0,55
16/12/2014	15:46:15.538	112,79	12	0	0	1,19	0,02	0,09	8,34	0,59	0,47
16/12/2014	15:51:15.538	112,74	10	0	0	1,2	0,02	0,08	8,39	0,54	0,45
16/12/2014	15:56:15.538	112,89	6	0	0	1,19	0,04	0,11	8,25	0,4	0,4
16/12/2014	16:01:15.538	112,88	7	0	0	1,19	0,03	0,12	8,18	0,44	0,45
16/12/2014	16:06:15.538	113,35	7	0	0	1,18	0,06	0,12	8,39	0,41	0,43
16/12/2014	16:11:15.538	113,47	2	0	0	1,17	0,13	0,12	8,27	0,28	0,41
16/12/2014	16:16:15.538	113,29	3	0	0	1,17	0,1	0,12	8,24	0,26	0,52
16/12/2014	16:21:15.538	113,7	5	0	0	1,17	0,03	0,09	8,12	0,3	0,74
16/12/2014	16:26:15.538	113,86	5	0	0	1,2	0,03	0,13	8,25	0,39	0,7
16/12/2014	16:31:15.538	114,65	5	0	0	1,27	0,04	0,11	8,17	0,53	0,71
16/12/2014	16:36:15.538	115,17	7	0	0	1,25	0,03	0,07	8,24	0,51	0,74
16/12/2014	16:41:15.538	115,12	6	0	0	1,24	0,03	0,07	8,28	0,53	0,77
16/12/2014	16:46:15.538	114,81	4	0	0	1,21	0,05	0,07	8,27	0,54	0,76
16/12/2014	16:51:15.538	114,43	5	0	0	1,22	0,04	0,07	8,36	0,52	0,74
16/12/2014	16:56:15.538	114,79	5	0	0	1,22	0,03	0,06	8,52	0,32	0,75
16/12/2014	17:01:15.538	115,37	8	0	0	1,23	0,02	0,11	8,33	0,4	0,94
16/12/2014	17:06:15.538	114,35	8	0	0	1,23	0,02	0,13	8,29	0,44	0,98

16/12/2014	17:11:15.538	113,54	10	0	0	1,27	0,02	0,13	8,22	0,5	0,92
16/12/2014	17:16:15.538	113,86	10	0	0	1,26	0,02	0,11	8,42	0,5	0,94
16/12/2014	17:21:15.538	114,19	5	0	0	1,24	0,04	0,09	8,64	0,39	0,97
16/12/2014	17:26:15.538	115,61	6	0	0	1,46	0,04	0,06	8,55	0,38	0,85
16/12/2014	17:31:15.538	115,56	7	0	0	1,48	0,03	0,08	8,43	0,4	0,92
16/12/2014	17:36:15.538	115,72	6	0	0	1,47	0,03	0,09	8,36	0,37	0,86
16/12/2014	17:41:15.538	115,54	5	0	0	1,46	0,05	0,08	8,45	0,38	0,84
16/12/2014	17:46:15.538	115,46	6	0	0	1,47	0,03	0,08	8,46	0,41	0,76
16/12/2014	17:51:15.538	115,1	7	0	0	1,48	0,03	0,08	8,44	0,45	0,77
16/12/2014	17:56:15.538	114,67	5	0	0	1,43	0,04	0,06	8,38	0,52	0,79
16/12/2014	18:01:15.538	114,58	7	0	0	1,44	0,04	0,04	8,56	0,6	0,81
16/12/2014	18:06:15.538	114,47	7	0	0	1,44	0,03	0,07	8,61	0,68	1,16
16/12/2014	18:11:15.538	113,66	7	0	0	1,46	0,03	0,07	8,57	0,53	1,12
16/12/2014	18:16:15.538	112,59	7	0	0	1,5	0,03	0,07	8,65	0,37	0,95
16/12/2014	18:21:15.538	111,94	9	0	0	1,5	0,03	0,08	8,65	0,69	0,68
16/12/2014	18:26:15.538	111,65	10	0	0	1,48	0,02	0,11	8,58	0,94	0,94
16/12/2014	18:31:15.538	111,81	10	0	0	1,47	0,03	0,06	8,71	1,31	0,65
16/12/2014	18:36:15.538	112,79	12	0	0	1,47	0,02	0,08	8,32	1,36	0,73
16/12/2014	18:41:15.538	113,03	14	0	0	1,43	0,02	0,07	8,32	1,36	0,68
16/12/2014	18:46:15.538	113,12	13	0	0	1,43	0,02	0,06	8,16	1,45	0,68
16/12/2014	18:51:15.538	113,47	10	0	0	1,5	0,03	0,08	8,51	1,54	0,47
16/12/2014	18:56:15.538	113,64	8	0	0	1,46	0,03	0,07	8,28	1,44	0,36
16/12/2014	19:01:15.538	113,53	10	0	0	1,47	0,03	0,05	8,26	1,44	0,58
16/12/2014	19:06:15.538	113,79	10	0	0	1,47	0,03	0,05	8,2	1,59	0,47